



WORLD BANK GROUP
Water

**ETUDE PREALABLE A UN PLAN NATIONAL
'REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES'
POUR LA TUNISIE
-
DIAGNOSTIC DE L'EXISTANT**

**LIVRABLE N°4/7 : BILAN DES CAMPAGNES
D'ANALYSES D'EAUX, SOLS ET CULTURES**

FEVRIER 2018



PROVISOIRE

RESUME

PREAMBULE

Le présent rapport s'inscrit dans un travail de diagnostic sur la Réutilisation des Eaux Usées Traitées (REUT) en Tunisie, en préalable à un plan national.

La mission a été commanditée par l'ONAS, le Ministère de l'agriculture des ressources hydrauliques et de la pêche et le Ministère de la santé, sur un financement du Water Partnership Program de la Banque Mondiale. Elle s'articule autour de six livrables différents :

1. Etat de l'art de la REUT en Tunisie : cadre institutionnel, opérations actuelles, aménagement projetés, état de la recherche...
2. Retour d'expérience international
3. Diagnostic du système de contrôle de la qualité des eaux
4. Campagne d'analyse de la qualité des eaux, des sols et des produits agricoles
5. Base de données géomatique des opérations tunisiennes de REUT
6. Diagnostic spécifique du fonctionnement des cas de REUT El Hajeb (STEP de Sfax Sud) et de BorjTouil (STEP du Grand Tunis)
7. Rapport de synthèse

Le présent rapport correspond à la tâche 4 « Programme d'analyse des EUT, des sols et des cultures irriguées avec des EUT et en comparaison avec des eaux conventionnelles ».

CONTENU DU PROGRAMME D'ANALYSES

L'objectif du programme était double : comparer la répétabilité de résultats inter-laboratoires et rassembler des données de fond pour évaluer l'efficacité sanitaire et environnementale des systèmes de REUT.

- Le **programme d'analyse des eaux** a concerné les stations d'épuration de Nabeul SE4, Choutrana 2, Côtière Nord et Charguia, ainsi que le canal Khelidj alimentant le périmètre de BorjTouil, et des eaux de nappes proches du périmètre de Sfax Sud. Les prélèvements ont été réalisés entre août et septembre 2017.

Les paramètres considérés étaient la salinité, les polluants organiques MES, DCO et DBO₅, les nutriments N et P, les éléments traces métalliques et les contaminants microbiens (œufs de nématodes et bactériologie).

4 laboratoires tunisiens ont été mobilisés (CITET à Tunis, CMA Azur à Tunis, Greenlab à Tunis, Eco2lab à Tunis et Sousse).

- Le **programme d'analyse de terre** a concerné les périmètres irrigués de BorjTouil, El Hajeb, Nabeul et La Soukra, entre juillet et octobre 2017.

Les paramètres considérés étaient la granulométrie, le pH, la conductivité, la capacité d'échange cationique, la teneur en matière organique, les éléments traces métalliques et les œufs de nématodes.

5 laboratoires tunisiens ont été mobilisés (GreenLab, CMA, Eco2Lab, SNPC, CITET) et un laboratoire français (LDM).

- Le **programme d'analyses des cultures** a concerné les périmètres irrigués de BorjTouil, El Hajeb, Nabeul et La Soukra, en septembre 2017.

Les paramètres considérés étaient les éléments traces métalliques et la contamination bactériologique.

3 laboratoires tunisiens ont été mobilisés (GreenLab, Eco2Lab, CITET).

RESULTATS ET DISCUSSION

Il ressort les éléments suivants pour chacun des trois matériaux analysés (eaux / sols / cultures).

- **Sur les eaux :**
 - o La comparaison des valeurs inter-laboratoires montre que les mesures des **indicateurs de pollution** (DCO, DBO₅, MES) ont une reproductibilité satisfaisante pour leur interprétation et l'appréciation de leur conformité réglementaire
 - o Les mesures des **substances azotées et du phosphore** connaissent davantage de dispersion. Le cas est sensible pour l'analyse des nitrates et du phosphore où les ordres de grandeur peuvent totalement différer (facteur 10 et plus).
 - o Quelles que soient les incertitudes de mesure de chacun des laboratoires, les limites de la norme NT 106.02 pour le **paramètre phosphore** ne sont quasiment jamais respectées. Ces dépassements ne constituent pas un problème pour la REUT puisqu'ils constituent des sources de nutriments non négligeables.
 - o Les **suivis microbiologiques** mettent en évidence la difficulté d'apprécier la qualité des **effluents bruts**. Les concentrations en germes fécaux sont souvent estimées par défaut de dilution. On soulignera à cette occasion que des critères réglementaires de qualité exprimés en performance d'abattement sont difficilement applicables pour cette raison.
 - o La **qualité microbiologique** des stations peut fortement varier selon les stations (Nabeul) pour un même procédé de traitement. La **conduite d'exploitation** a un rôle significatif sur la qualité microbiologique. Les stations présentant les teneurs en MES ont les qualités microbiologiques les plus mauvaises d'après les concentrations en **E coli et entérocoques**. La maîtrise de la clarification est primordiale pour la maîtrise du risque sanitaire.
 - o La **présence ponctuelle de salmonelles et de vibrions cholériques** en sortie station et stockage montre que les critères de la norme NT 106.02 doivent être pris en compte dans la gestion du risque sanitaire (exposition des professionnels et des consommateurs de cultures) en complément du suivi des œufs d'helminthes.

- Le suivi de la **nappe de Sfax** montre que la REUT est un facteur de dégradation supplémentaire de qualité d'eau avec des enrichissements très élevés en nitrates (100 à 200 mg/l) et des contaminations microbiologiques non négligeables. La qualité d'eau usée traitée pour l'arrosage des périmètres irrigués devrait être adaptée en cas d'enjeu particulier identifié ainsi que les modalités d'arrosage.
- **Sur les sols :**
 - Les méthodes analytiques employées sont très variables d'un laboratoire à l'autre, les résultats hétérogènes, leur comparaison impossible et leur interprétation délicate : il est nécessaire de **structurer une filière d'analyses de terre** en Tunisie, compte-tenu des enjeux de durabilité des systèmes de culture (salinité, teneur en matière organique, problématiques d'érosion ou d'irrigation)
 - Seule conclusion possible : il ne semble pas y avoir d'accumulation d'éléments traces métalliques dans les sols des périmètres irrigués.
- **Sur les plantes :**
 - Sur les échantillons ayant pu être analysés en doublons et sur les paramètres mesurés, la variabilité des **résultats interlaboratoires** est correcte,
 - Aucune contamination ou accumulation **d'éléments traces métalliques** n'est mise en évidence dans les cultures, même à la Soukra, périmètre irrigué depuis 1965,
 - Aucune contamination par les **œufs de nématodes** n'est mise en évidence,
 - Une **contamination bactériologique** importante des cultures fourragères est constatée, pour les cultures irriguées avec les EUT comme pour les eaux de puits de BorjTouil ; un délai suffisant entre la dernière irrigation et la récolte est nécessaire pour permettre un abattement complémentaire.

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	7
2	PROGRAMME DE PRELEVEMENTS.....	8
2.1	OBJET DE L'OPERATION.....	8
2.2	CADRE REGLEMENTAIRE ET NORMATIF	8
2.3	SITES SELECTIONNES.....	8
2.4	LES PRINCIPES DU PROGRAMME ANALYTIQUE DE QUALITE DES EAUX.....	9
2.4.1	<i>Principes du programme d'analyses des eaux usées</i>	<i>9</i>
2.4.2	<i>Principes du programme d'analyses des eaux de forages.....</i>	<i>10</i>
2.4.3	<i>Tableau récapitulatif des points de prélèvement 'eau'</i>	<i>10</i>
2.4.4	<i>Organisation et moyens de prélèvements.....</i>	<i>10</i>
2.4.5	<i>Programme analytique.....</i>	<i>11</i>
2.5	PRINCIPES DU PROGRAMME D'ANALYSES DES SOLS	13
2.5.1	<i>Contenu de l'intervention.....</i>	<i>13</i>
2.5.2	<i>Objet de la comparaison.....</i>	<i>14</i>
2.5.3	<i>Mode opératoire.....</i>	<i>14</i>
2.5.4	<i>Méthodes analytiques.....</i>	<i>14</i>
2.6	PRINCIPES DU PROGRAMME D'ANALYSES DES VEGETAUX	15
3	RESULTATS D'ANALYSE	17
3.1	RESULTATS DES ANALYSES DES EAUX	17
3.1.1	<i>Résultats de contrôles de la Step de Nabeul SE04</i>	<i>17</i>
3.1.2	<i>Résultats de contrôles de la Step de Charguia</i>	<i>23</i>
3.1.3	<i>Résultats de contrôles de la Step de Côtière Nord</i>	<i>28</i>
3.1.4	<i>Résultats de contrôles de la Step de Choutrana 2.....</i>	<i>29</i>
3.1.5	<i>Résultats de contrôles du canal Khelij (milieu récepteur)</i>	<i>30</i>
3.1.6	<i>Résultats de contrôles de la nappe d'eau souterraine de Sfax.....</i>	<i>31</i>
3.2	RESULTATS DES ANALYSES DES SOLS.....	36
3.2.1	<i>Sols du périmètre de Sfax (El Hajeb)</i>	<i>36</i>
3.2.2	<i>Sols du périmètre de Borj Touil</i>	<i>40</i>
3.2.3	<i>Sols du périmètre de Soukra</i>	<i>46</i>
3.2.4	<i>Sols du périmètre de Nabeul.....</i>	<i>49</i>
3.3	RESULTATS DES ANALYSES DES VEGETAUX.....	52
3.3.1	<i>Végétaux du périmètre de Sfax (El Hajeb).....</i>	<i>52</i>
3.3.2	<i>Végétaux du périmètre de Borj Touil.....</i>	<i>55</i>
3.3.3	<i>Végétaux du périmètre de Soukra.....</i>	<i>58</i>
3.3.4	<i>Végétaux du périmètre de Nabeul.....</i>	<i>61</i>
4	DISCUSSION	64
4.1	ANALYSE GLOBALE DU COMPARTIMENT EAUX	64
4.1.1	<i>La reproductibilité des résultats.....</i>	<i>64</i>
4.1.2	<i>Les performances d'abattement des STEP.....</i>	<i>64</i>
4.1.3	<i>La qualité d'eau pour REUT – usages et potentiel.....</i>	<i>66</i>
4.1.4	<i>Préconisations relatives à l'exploitation d'une opération de REUT.....</i>	<i>67</i>
4.2	ANALYSE GLOBALE COMPARTIMENT SOL	67
4.2.1	<i>Evaluation des méthodes analytiques.....</i>	<i>67</i>
4.2.2	<i>Interprétation des résultats.....</i>	<i>68</i>
4.3	ANALYSE GLOBALE COMPARTIMENT PLANTES	69
5	ANNEXES	72
5.1	ANNEXE 1 : RECAPITULATIF DES LABORATOIRES D'ANALYSES DE TUNISIE	72
5.2	ANNEXE 3 LOCALISATION DES PARCELLES D'ETUDE DES SOLS.....	74

1 INTRODUCTION

Sous l'effet de l'évolution climatique et de la croissance démographique, synonyme de besoins alimentaires supplémentaires à pourvoir dans le futur dans des conditions environnementales plus défavorables, les autorités tunisiennes affichent la **volonté d'amplifier la réutilisation des eaux usées traitées (REUT)**.

La REUT est à la croisée d'enjeux économiques et sanitaires. Elle implique la prise en compte de **problématiques de qualité d'eaux** qui intéressent l'environnement mais aussi et surtout la chaîne de l'alimentation : agriculteurs, personnel récoltant, distributeurs de produits agricoles et consommateurs.

La REUT lie le fonctionnement des stations d'épurations à des besoins de gestion proactive des risques de dégradation de la qualité d'eau usée traitée. Parmi les dispositions à prévoir, celle des **contrôles de qualité d'eau** est très importante car elle permet d'apprécier le bon fonctionnement des STEP et de vérifier l'aptitude de l'eau usée traitée pour l'irrigation.

Une action stratégique pour le développement de la REUT à l'échelle nationale de la Tunisie doit pouvoir s'appuyer sur une capacité de contrôle de la qualité des eaux. L'Etat comme les acteurs de la REUT doit pouvoir compter sur **un réseau de laboratoires** à même de donner des résultats d'analyses fiables, de façon relativement rapide et sachant réaliser l'ensemble des paramètres d'analyses prévus par la réglementation.

La maîtrise des enjeux sanitaires nécessite d'autres dispositions comme un **système opérationnel d'échange d'information** en cas d'alerte entre l'exploitant de la STEP et le gestionnaire du réseau d'eau usée traitée. Les alertes ne concernent pas que des résultats d'analyses mais aussi des défaillances d'équipements pour le traitement ou la distribution, des résultats de mesures par des capteurs ou des contaminations de l'eau pendant son stockage.

Le rapport fait le diagnostic de ces dispositions et met en exergue les points essentiels à retenir en perspective du développement de la REUT en Tunisie.

2 PROGRAMME DE PRELEVEMENTS

2.1 Objet de l'opération

Une expertise du **système actuel de contrôle de la qualité des eaux** a été effectuée dans le cadre de la mission, et présentée dans le livrable n°3.

Elle est ici complétée dans le livrable n°4 par **une campagne spécifique** d'analyses de contrôle sanitaire et environnemental sur des **eaux usées** traitées de 4 stations d'épuration, sur des **sols** et des **cultures irrigués** avec les EUT de ces 4 sites et si possible, pour comparaison, sur des sols et des cultures irrigués avec des **eaux conventionnelles** (analyses d'eaux de forages) dans les mêmes périmètres.

Cette campagne d'analyses constitue un premier point de référence, certes partiel, pour une **comparaison entre différents laboratoires tunisiens** accrédités pour les analyses d'eaux et pour les sols (concernant les sols, un laboratoire français agréé a également été destinataire d'un échantillonnage commun).

2.2 Cadre réglementaire et normatif

La Tunisie s'est dotée dans un premier temps de normes de **qualité des eaux usées traitées** et dans un deuxième temps d'un dispositif réglementaire encadrant les conditions de mise en œuvre de la Réutilisation d'Eaux Usées Traitées (Cf. livrable n°3).

Aucune norme ou dispositif réglementaire n'encadre la **qualité des sols** soumis à l'irrigation avec des eaux usées traitées ni la qualité sanitaire des cultures ou des productions agricoles autorisées en irrigation avec des EUT.

En effet le dispositif réglementaire actuel fixe seulement :

- l'interdiction d'irrigation avec des EUT d'une liste de cultures,
- l'auto surveillance des stations d'épuration et des contrôles analytiques inopinés sur les eaux usées traitées.

2.3 Sites sélectionnés

Le programme de prélèvements et d'analyses a été défini et mis en œuvre sur plusieurs sites de production et/ou d'utilisation d'eaux usées traitées.

4 sites sont retenus à savoir :

- Les périmètres irrigués de BorjTouil (STEP du Grand Tunis) et d'El Hajeb (STEP de Sfax sud) qui sont les deux sites retenus pour un diagnostic spécifique de fonctionnement (Cf. livrable n°6) ;

- Les deux périmètres de Nabeul et de la Soukra, Ce dernier étant le plus ancien périmètre agricole irrigué avec des EUT, et pour lesquels des analyses de terres (ETM et salinité) avaient été effectuées dans le cadre d'études sur l'impact environnemental des EUT menées par l'INAT ou l'INRGREF entre 1997 et 2007

Les données récoltées n'ont pas la prétention de représenter de façon exhaustive la qualité des effluents de tous les systèmes d'épuration de la Tunisie. Elles ne couvrent qu'une période de suivi réduite (2 mois) et un nombre restreint de sites.

Néanmoins, elles constituent une source d'informations consolidées sur le plan méthodologique avec des prélèvements répétés à fréquence rapprochée et des analyses croisées entre laboratoires utiles pour une interprétation pertinente.

2.4 Les principes du programme analytique de qualité des eaux

Le programme analytique initial a dû être modifié en fonction des contextes rencontrés et des difficultés de mise en œuvre de certains prélèvements.

2.4.1 Principes du programme d'analyses des eaux usées

Tous les échantillons sont prélevés en double, correctement identifiés par un étiquetage adéquat et doivent être transportés à une température de 4 à 5 °C et acheminés à deux laboratoires différents dans un délai maximum de 24 heures.

Les points de prélèvements sont :

- **entrée de la STEP** : ces prélèvements permettent de caractériser les effluents bruts, d'apprécier la charge d'entrée des Step.
- **sortie des EUT de la STEP**; ces prélèvements ont pour but de comparer la qualité d'eau traitée en sortie par rapport aux limites de qualité réglementaires des rejets dans le milieu naturel (NT 106.02 milieu hydraulique ou milieu maritime) et dans une deuxième mesure, pour comparaison par rapport aux limites prévues pour la REUT (NT 106.03).
- **canal de transfert des EUT ou bassin de stockage du CRDA** : Les prélèvements au niveau des bassins concernent les eaux usées traitées et stockées en vue d'une réutilisation pour l'irrigation. Les résultats sont comparés aux limites réglementaires spécifiques à la REUT (NT 106.03).

Les échantillons EUT destinés aux analyses physico chimiques ont été collectés dans un flacon en polyéthylène de 2 litres.

Les échantillons destinés aux analyses des œufs de nématodes (Helminthes) ont été prélevés dans des flacons en polyéthylène de 5 litres.

Les échantillons destinés aux analyses bactériologiques ont été prélevés dans des flacons stériles de 500ml.

Deux campagnes ont été prévues et mises en place avec un protocole communiqué aux préleveurs :

- **Campagne 'Etat Zéro'** : le prélèvement est fait de façon instantané aux 3 points de prélèvements (sauf à la STEP de BorjTouil où il n'y a que deux points de prélèvement)

- **Campagne 'de routine'** : le prélèvement est réalisé grâce à des préleveurs automatiques sur 24 h aux 3 points de prélèvements (sauf à BorjTouil où il n'y a que deux points de prélèvement) en vue de constituer un échantillon moyen à chaque point de prélèvements.

2.4.2 Principes du programme d'analyses des eaux de forages

Les modalités de prélèvement, de conservation et d'acheminement sont identiques à celles des eaux usées.

Cette catégorie de prélèvements se rapporte essentiellement à des prélèvements sur la nappe d'eau souterraine de Sfax pour l'évaluation de l'impact potentiel de la REUT pratiqué sur les périmètres irrigués en surface.

Les prélèvements instantanés, initialement prévus dans six (6) puits dans le périmètre d'El Hajeb (Galia et Bessis) et dans celui de Sidi Abid, n'ont pu être effectués que dans **deux (2) puits** ouverts spécialement par le CRDA dans le périmètre de Sidi Abid, les autres puits n'ayant pas pu être ouverts ou étant à sec.

2.4.3 Tableau récapitulatif des points de prélèvement 'eau'

Les points de prélèvements choisis sont récapitulés ci-après :

Step	Points de prélèvements		
Stations d'épuration			
Nabeul SE4	Entrée	Sortie	Bassin CRDA
Choutrana 2	Entrée	Sortie	Bassin maturation
Charguia	Entrée	Sortie	Bassin CRDA
Cotiere Nord	Entrée	Sortie	
Sfax sud	Entrée	Sortie	Réservoir
Milieux récepteurs			
Golfe de Tunis via le canal Khelidj	Canal Khelij	-	-
Eau nappe Sfax	Puits Sidi Abid 1	Puits Sidi Abid 2	-

Le canal Khelij reçoit les eaux usées traitées du complexe Choutrana rassemblant notamment les Step de Charguia, Choutrana et Côtiers Nord situées au nord de Tunis. Celles-ci sont actuellement rejetées à la mer via le canal. La qualité d'eau est comparée par rapport aux exigences de rejet dans le milieu maritime et par rapport aux normes de REUT dans la perspective de développer cet usage.

2.4.4 Organisation et moyens de prélèvements

Des prélèvements moyens 24h ont été réalisés sur les points entrée et sortie des Step avec des échantillonneurs automatiques pour certains sites. Ces derniers sont réalisés à pas de temps fixe (1h). Les prélèvements 24h sont identifiables par les dates de début et de fin de prélèvement xx – xx/09/17 tandis que les prélèvements ponctuels ne comportent qu'un jour dans l'indication de la date de prélèvement.

En vue de prendre en compte à la fois les incertitudes d'échantillonnage et les incertitudes de mesures analytiques, les prélèvements ont été échantillonnés en double et confiés à 2 laboratoires pour analyses « croisées ».

2.4.5 Programme analytique

Quatre laboratoires ont été sollicités pour la réalisation des analyses d'eaux sont :

- Le laboratoire CITET à Tunis,
- Le laboratoire CMA Azur à Tunis,
- Le laboratoire Greenlab à Tunis,
- Le laboratoire Eco2lab à Tunis et Sousse.

L'organisation et les moyens de ces laboratoires ont fait l'objet de visite et ont répondu à des questionnaires dans le cadre de la tâche 3 pour l'évaluation des moyens de suivi de qualité d'eau et des enjeux sanitaires.

Il a été vérifié à cette occasion que les laboratoires sélectionnés disposaient des moyens et compétences pour la réalisation d'analyses sur eaux résiduaires, sur un programme physicochimique plus ou moins étendu, avec, plus rarement, la capacité de réaliser les analyses microbiologiques, souvent sous-traitées.

Les rapports d'analyses et les accréditations TUNAC des laboratoires sont joints en annexe.

Le programme d'analyse initial retenu pour chaque campagne (état initial E0 et suivi routine) a tenu compte des paramètres les plus sensibles pour la réglementation (tableau page suivante) : indicateurs de pollution organique, microbiologie.

		Points			
		Eau traitée résiduaire (sortie station)			
Paramètres	Unité	Etat 0 - Labo 1	Etat 0 - Labo 2	Suivi routine Labo 1	Suivi routine Labo 2
Microbiologie					
E Coli	UFC /100mL	1/site	1/site	x/site	x/site
Entérocoques	UFC /100mL	1/site	1/site	x/site	x/site
Helminthes	œufs /L	1/site	1/site	x/site	x/site
Salmonelles	présence/absence	1/site	1/site	x/site	x/site
Vibrions cholériques	présence/absence	1/site	1/site	x/site	x/site
Physicochimie					
pH		1/site	1/site	x/site	x/site
Conductivité	µS /cm	1/site	1/site	x/site	x/site
DCO	mg /L	1/site	1/site	x/site	x/site
DBO5	mg /L	1/site	1/site	x/site	x/site
MES	mg /L	1/site	1/site	x/site	x/site
NTK	mg /L	1/site	1/site	x/site	x/site
NO3	mg /L	1/site	1/site		
P	mg /L	1/site	1/site		
Metaux et oligoelements					
Chlorures (C1)	mg /L	1/site	1/site		
Fluorures (F)	mg /L	1/site	1/site		
Organochlores	mg /L	1/site	1/site		
Arsenic (As)	mg /L	1/site	1/site		
Bore (B)	mg /L	1/site	1/site		
Cadmium (Cd)	mg /L	1/site	1/site		
Cobalt (Co)	mg /L	1/site	1/site		
Chrome (Cr)	mg /L	1/site	1/site		
Cuivre (Cu)	mg /L	1/site	1/site		
Fer (Fe)	mg /L	1/site	1/site		
Manganèse (Mn)	mg /L	1/site	1/site		
Mercure (Hg)	mg /L	1/site	1/site		
Nickel (Ni)	mg /L	1/site	1/site		
Plomb (Pb)	mg /L	1/site	1/site		
Sélénium (Se)	mg /L	1/site	1/site		
Zinc (Zn)	mg /L	1/site	1/site		

Les conditions de prise en charge des échantillons par les laboratoires n'ont pas permis d'appliquer intégralement le programme prévu.

Certaines analyses manquantes et certains suivis de routine n'ayant pu être répétés sur plusieurs sites, l'interprétation des résultats a été adaptée en priorité aux bilans entrée-sortie, avec agrégation des résultats obtenus à deux dates décalées (1 jour), si nécessaire.

Les méthodes analytiques employées par les laboratoires, accrédités TUNAC, ne font pas référence aux normes tunisiennes indiquées dans les spécifications relatives aux limites de rejet des eaux usées traitées (NT 106.02). Les laboratoires utilisent de préférence des référentiels NF ou ISO. Le tableau ci-dessous récapitule les correspondances entre les normes Tunisiennes et les normes utilisées par les laboratoires.

Paramètres	Unité	Normes analytiques prévues par NT 106.02	Normes équivalentes appliquées
Microbiologie			
E Coli	UFC /100mL	NT 16.21	NF EN ISO 9308-1
Entérocoques	UFC /100mL	NT 16.23	NF EN ISO 7899-2
Helminthes	œufs /L		Dénombrement
Salmonelles	présence/absence		
Vibrions cholériques	présence/absence		
Physicochimie			
pH	u.pH	NT 09.05/06	ISO 10523
Température eau	°C		
Conductivité à 25°C	µS /cm		NF EN 27888
DCO	mg /L	NT 09.23	NF T 90-101
DBO5	mg /L	NT 09.20	ISO 5815-1
MES	mg /L	NT 09.21	NF EN 872
NTK	mg /L	NT 09.18	NF EN 25663
NO ₃	mg /L	NT 09.30	
P	mg /L		
Metaux et oligoelements			
Arsenic	mg /L	NT 09.08	ISO 11885
Bore	mg /L		ISO 11885
Chlorures (Cl)	mg /L	NT 09.77	ISO 9297
Cadmium (Cd)	mg /L	NT 09.35	ISO 11885
Cobalt (Co)	mg /L	NT 09.07	ISO 11885
Chrome (Cr)	mg /L		ISO 11885
Cuivre	mg /L	NT 09.07	ISO 11885
Fer	mg /L	NT 09.25	ISO 11885
Fluorures	mg /L		NF T 90-004
Manganèse (Mn)	mg /L	NT 09.28	ICP hydrure
Mercure (Hg)	mg /L	NT 09.37	ISO 11885
Nickel (Ni)	mg /L	NT 09.07	ISO 11885
Plomb (Pb)	mg /L	NT 09.07	ISO 11885
Sélénium (Se)	mg /L	NT 09.36	ISO 11885
Zinc (Zn)	mg /L	NT 09.07	ISO 11885
Pesticides			
Organochlorés	µg/l		NF EN ISO 16693

2.5 Principes du programme d'analyses des sols

2.5.1 Contenu de l'intervention

Le pédologue de la SCP a procédé au cours de sa mission de juillet en Tunisie à :

- une reconnaissance sommaire, par sondage à la tarière, des sols de trois parcelles de cultures différentes dans le périmètre de BorjTouil et de deux parcelles sur le périmètre El Hajeb (Sfax Sud) et
- des prélèvements instantanés (état zéro) sur ces parcelles irriguées avec des EUT ; la description des sols est donnée dans le chapitre 3

2.5.2 Objet de la comparaison

A la demande du Ministère de l'Agriculture des analyses de terres de parcelles de deux périmètres (Soukra et Nabeul) ont été rajoutées au programme initial. Pour ces périmètres les parcelles ont été choisies de la manière suivante : parcelles irriguées avec des **EUT** et portant des cultures représentatives du périmètre

Lorsque cela été possible des prélèvements dans des parcelles irriguées avec des **eaux conventionnelles** au sein des périmètres ont également été effectués et analysés par différents laboratoires dans le cadre de cette évaluation ponctuelle inter laboratoires et de comparaison de la qualité des sols entre terres irriguées ou non avec des EUT.

2.5.3 Mode opératoire

Tous les **prélèvements unitaires** (une quinzaine par parcelle) de terre ont été mélangés pour constituer un échantillon composite partagé en 3 sous échantillons identiques et acheminés dans deux laboratoires tunisiens et un laboratoire français.

Pour les périmètres de Sfax (El Hajeb), Nabeul et Soukra un prélèvement composite de 2 kilos de terre minimum à partir du mélange dans un seau propre de 15 échantillons élémentaires prélevés à la tarière sur les 20 premiers centimètres et répartis au hasard à partir du point central de la parcelle.

Pour BorjTouil les prélèvements composites sont effectués suivant les mêmes modalités mais sur les 30 premiers cm, étant donné le travail mécanique du sol sur cette épaisseur.

Ces cinq parcelles sur les deux périmètres El Hajeb et BorjTouil ont également été à nouveau prélevées lors de la campagne dite de routine en septembre 2017.

La localisation des prélèvements sur les parcelles des périmètres irrigués de BorjTouil et de ElHajeb est celle indiquée sur les cartes annexées au présent document.

2.5.4 Méthodes analytiques

Les analyses de terre courantes sauf cas particuliers sont spécifiquement des analyses selon les normes existantes du domaine qualité des sols de type ISO, Norme Française ou Norme Tunisienne. Mais les méthodes analytiques utilisées diffèrent selon les laboratoires entre des normes de qualité des sols ou de qualité des eaux voire de caractérisation des boues.

Le tableau ci-dessous récapitule l'ensemble des méthodes mises en œuvre et rend compte de la difficulté de la comparaison inter labos et de l'interprétation standardisée souhaitable.

Paramètres	méthodes	references	references	reference	reference	reference
		normatives	normatives	normatives	normatives	normatives
		SNPC	ECO2 LAB	GREENLab	CMA	CITET
Cl, SO4, P, Cu, Ni, Pb, Zn, Cd, Hg, Cr, Ca, Mg, K	Lixiviation préalable par agitation rotative durant 24 heures à une vitesse de 10 tours /min	EN 124571 (2002)		NF EN 13346 caractérisation des boues	CI NF ISO 9297 Q eau	
Cl, SO4, P, Cu, Ni, Pb, Zn, Cd, Hg, Cr, Ca, Mg, K	Spectrométrie de fluorescence	X NT 106.80 qualité des eaux	Q Eau ISO 11885	NT 09 193	Q Eau ISO 11885	Q Eau ISO 11885
Hg						NF EN 1483 q eau
Conductivité à 25°C, TDS	Mesure à l'aide d'un conductimètre	√ NF ISO 11265	√ NF ISO 11265	√ NF ISO 11265	√ NF ISO 11265	√ NF ISO 11265
pH	Mesure électrométrique du pH avec électrode de verre	√ ISO 10390 (1994)	√ ISO 10390 (1994)	√ ISO 10390 (1994)	√ ISO 10390 (1994)	√ ISO 10390 (1994)
Na	Dosage par spectrométrie d'absorption atomique à flamme	Q Eau NT ISO 9964-1	√ ISO 11265	Q eau NT 09 -65-3	Q Eau ISO11885	Q Eau ISO11885
Dénombrement des OEufs de nématodes		Observation microscopique -	Méthode de Richtie	Méthode Stachwel	Dénombrement	Méthode de Richtie
Carbone organique total	Dosage du carbone organique total après combustion sèche	√ ISO 10694	√ ISO14235	√ ISO14235	√ ISO14235	
Granulométrie	Analyse granulométrique par tamisage	NF P 18/560 norme obsolète .	√ ISO 11277	√ ISO 11277	√ ISO 11277	Gravimétrie
NTK	Minéralisation puis dosage	√ ISO 11261	√ ISO 11261	√ ISO 11261	√ ISO 11261	Q Eau NF EN 25663
Carbonates, Bicarbonates	méthode volumétrique	Méthode par calcul	√ ISO 10693	ND		Q Eau NF EN ISO 9963
NO3	extraction puis dosage	√ ISO TS 14256 -1	ISO255 ?	Q eau ISO 10304-1	Q Eau T 90_045	Q Eau ISO 10304-1
CEC -		Somme des cations échangeables (Ca2+, Mg2+, K+)	√ ISO 23470	√ ISO 11260	extraction à l'acétate d'ammonium	ND
calcaire total	méthode calcimètre de Bernard	ND	ND	√ NF X 31-105 norme annulée	Q Eau NF ISO 9963-1	ND
calcaire actif	méthode DROUINEAU	ND	ND	√ NF X 31-106	ND	ND
√ Norme référencée Qualité du sol						
Norme analytique utilisée par au moins 2 labos						
ND = non déterminé						
Norme analytique utilisée par au moins 3 labos						

2.6 Principes du programme d'analyses des végétaux

Le principe de cet échantillonnage consiste à faire des prélèvements sur des cultures fourragères et de l'arboriculture afin d'effectuer des analyses de quelques **métaux lourds et des analyses microbiologiques**.

Tous les échantillons sont prélevés en double et acheminés à **deux laboratoires différents**. L'étiquetage de chaque sachet indique le nom du site et le point de prélèvement (parcelle, culture en place, localisation GPS) et la date de prélèvement

Prélèvements pour analyses chimiques à raison de :

- 10 feuilles de fourrage prélevées sur la même plante ou
- 8 à 10 olives prélevées sur le même arbre ou
- 2 agrumes ou pêches sur le même arbre

Prélèvement et préparation des végétaux pour l'analyse bactériologique :

- les échantillons de fourrages, olives ou fruits sont prélevés dans des sachets stériles :
- pour les feuilles de fourrage (produits de petite taille), trois feuilles sont prélevées dans un même sachet;
- pour les fruits, les prélèvements sont effectués à raison d'un fruit par sachet. Pour les fruits pouvant se développer à différentes distances par rapport au sol, la hauteur du fruit par rapport au sol a été notée au moment du prélèvement.

PROVISoire

3 RESULTATS D'ANALYSE

3.1 Résultats des analyses des Eaux

3.1.1 Résultats de contrôles de la Step de Nabeul SE04

La station d'épuration a fait l'objet des campagnes de prélèvements suivants :

Campagnes prélèvements	Nature des prélèvements	Echantillonnage pour analyses	Laboratoires
11/08/17	ponctuel	simple	CMA
13-14/09/17 + 14/09/17	moyen 24 h + ponctuel	double	CMA Greenlab
26-27/09/17	moyen 24 h	double	CMA CITET

La campagne de prélèvement du 11/08/17 a servi d'état initial.

A ce titre, les analyses de métaux et de composés organochlorés ont été effectuées pour un bilan complet comparé aux paramètres de la norme de rejet NT 106.02 (analyses par le laboratoire CMA).

Les autres campagnes de prélèvements pour analyses de routine avaient pour objet de suivre les indicateurs de pollution chimique principaux et les contaminations microbiologiques.

Les analyses ont été faites en double par 2 laboratoires différents.

3.1.1.1 Les indicateurs de pollution carbonée (DCO, DBO₅, MES)

Les charges d'entrée en matières organiques sont relativement homogènes d'après les valeurs de DCO. L'amplitude de variation est de l'ordre de 30% entre la valeur minimum et la valeur maximum (645 à 951 mg/l).

Les ratios DCO/DBO₅ sont cohérents pour 3 campagnes sur 4 (ratio de 3.2 à 3.7).

Le ratio issu des résultats d'analyses du CITET du prélèvement du 26-27/09 correspond à un ratio particulièrement élevée et inhabituel pour un effluent domestique (ratio 6.3). Ceci s'explique par une valeur de DBO₅ estimée et non validée par le laboratoire pour des raisons techniques (taux de dilution). Cette valeur paraît sous-estimée et le ratio DCO/DBO₅ a contrario, surestimé.

Les valeurs de DBO₅ oscillent avec une amplitude relative équivalente à celles la DCO, de l'ordre de 30% (200 à 258 mg/l).

Laboratoire		CMA	CMA	CMA	CMA	CMA	CMA	CMA	CMA	CMA	CMA	Limites réglementaires	
Paramètres	Unité	Entrée	Sortie	Sortie PU	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Bassin CRDA	Entrée	Sortie	NT 106.002	NT 106.03
Date prélèvement		11/08/2017	11/08/2017	11/08/2017	13-14/09/17	13-14/09/17	14/09/17	14/09/17	14/09/17	26-27/09/17	26-27/09/17	Domaine hydraulique	REUT
Microbiologie													
E Coli	UFC /100mL	>670	>670	700	>10 000	> 5 000	-	-	-	> 100 000	<100	2 000	
Entérocoques	UFC /100mL	>1 000	>1 000	>1 000	>10 000	560	-	-	-	> 100 000	7 600	1 000	
Œufs d'helminthes	œufs /L	-	Absence	Absence	Absence	Présence	-	-	-	Absence	Absence		Absence
Salmonelles	présence/absence	-	-	-	Absence	Absence	Présence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	
Vibrions cholériques	présence/absence	-	-	-	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	
Physicochimie													
pH	u.pH	8.1	7.7	8.0	7.6	7.7	-	-	-	7.7	7.9	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Température eau	°C	16.7	24.9	25	27.3	26.1	-	-	-	15.2	15.9		
Conductivité à 25°C	µS /cm	3950	3170	2830	3 500	3 190	-	-	-	3890	3430		7 000
DCO	mg /L	951	42	168	554	53	-	-	-	740	43	90	90
DBO5	mg /L	258	5	59	198	3	-	-	-	216	4	30	30
MES	mg /L	344	11	26	503	5	-	-	-	514	14	30	30
NTK	mg /L	88.9	-	-	79.6	6.26	114	3.7	17.6	70.3	2.09	1	
NO ₃	mg /L	-	-	-	-	-	4.43	60.3	3	-	-	50	
P	mg /L	-	-	-	-	-	14.13	3.33	3.09	-	-	0.05	

Laboratoire		Greenlab	Greenlab	Greenlab	Greenlab	Greenlab	CITET	CITET	Limites réglementaires	
Paramètres	Unité	Entrée	Sortie	Entrée	Sortie	Bassin CRDA	Entrée	Sortie	NT 106.002	NT 106.03
Date prélèvement		13-14/09/17	13-14/09/17	14/09/17	14/09/17	14/09/17	26-27/09/17	26-27/09/17	Domaine hydraulique	REUT
Microbiologie										
E Coli	UFC /100mL	>1 000 000	2300	-	-	-	2 800 000	4 300	2 000	
Entérocoques	UFC /100mL	1 100 000	930	-	-	-	230 000	920	1 000	
Helminthes	œufs /L	Absence	Absence	-	-	-	Absence	Absence		Absence
Salmonelles	présence/absence	Présence	Présence	Présence	Présence	Présence	Absence	Absence	Absence	
Vibrions cholériques	présence/absence	Présence*	Présence*	Absence	Présence*	Absence	Absence	Absence	Absence	
Physicochimie										
pH	u.pH	7.3	7.75	-	-	-	7.55	7.9	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Température eau	°C	25.6	25.2	-	-	-	23.1	23.6		
Conductivité à 25°C	µS /cm	3 600	3 270	-	-	-	ND	ND		7 000
DCO	mg /L	645	40	-	-	-	839	77	90	90
DBO5	mg /L	200	5	-	-	-	130*	3*	30	30
MES	mg /L	350	6.3	-	-	-	400	12	30	30
NTK	mg /L	81.2	6.41	128	6.18	19.7	85.7	10.6	1	
NO ₃	mg /L	-	-	<0.124	8.46	0.245	-	-	50	
P	mg /L	-	-	27.1	3.96	2.45	-	-	0.05	

*les vibrio spp. Détectés sont les vibrio cholerae

Ceci tend à indiquer un échantillonnage reproductible et une bonne gestion en particulier de l'étape d'homogénéisation (incertitude contenue due aux MES).

Le traitement de la STEP est efficace sur les paramètres DCO, DBO₅ et MES avec 100% de conformité aux limites de la norme NT 106.02. On note que les valeurs sont significativement inférieures à ces limites (figure ci-dessous).

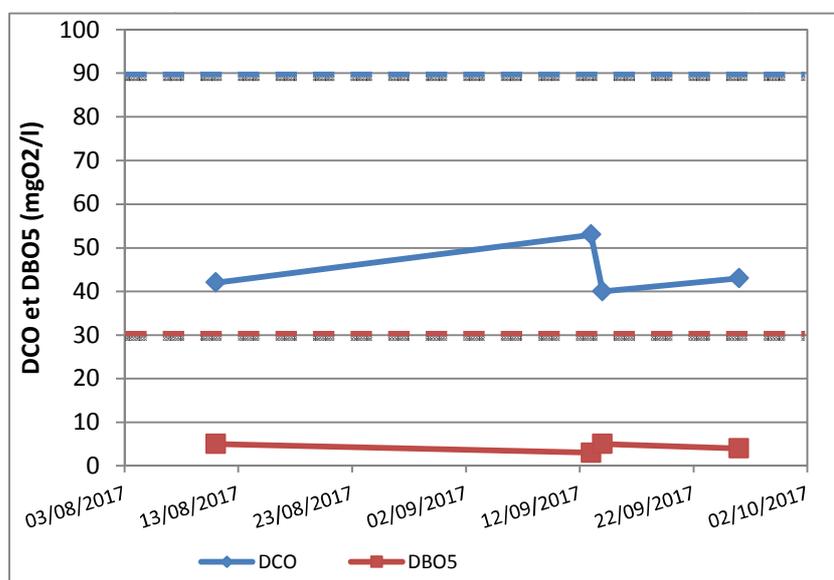


Figure 1 : Valeurs de DCO et DBO₅ en sortie station Nabeul (limites réglementaires NT 106.02 en pointillés)

☞ Qualité vis-à-vis de la norme REUT (NT 106.03)

Un seul prélèvement a pu être analysé sur les paramètres DCO, DBO₅ et MES au niveau du bassin de stockage d'eau usée traitée pour la REUT (colonne « sortie PU » du 11/08/17 dans le tableau précédent).

La qualité d'eau stockée est significativement moins bonne qu'en sortie station. Les valeurs de DCO et DBO₅ dépassent les limites réglementaires de la norme NT 106.03, égales à celles de la NT 106.02.

Ceci indique, soit une contamination de l'eau stockée, soit un mélange d'eaux de sortie STEP de qualité inégale, non conforme à tout moment aux limites réglementaires.

Les matières organiques caractérisées par la DCO et la DBO₅ favorisent le développement biologique dans les canalisations d'irrigation et peuvent être une source de défaillances préjudiciables au réseau d'irrigation.

S'agissant de prélèvements ponctuels, la concordance entre la qualité d'eau stockée et la qualité d'eau au niveau de la STEP ne peut pas être établie, à moins d'une performance très stable de la STEP.

Les concentrations relativement basses en MES ne devraient pas être directement une source de nuisance pour les dispositifs d'arrosage. L'enjeu est plus fort sur le développement de biofilms.

3.1.1.2 Les paramètres azotés et le phosphore

En entrée Step, les teneurs en azote réduit (NTK) sont comprises entre 70 et 120 mgN/l environ, soit une amplitude d'environ 40% par rapport à la valeur basse.

Les écarts analytiques entre laboratoires sont très variables. Ils oscillent d'environ 2% à 20% selon les prélèvements. Ce sont des valeurs cohérentes avec les incertitudes d'échantillonnage et d'analyse. La valeur élevée en NTK du prélèvement ponctuel du 14/09/17 est confirmée par les 2 laboratoires. Compte tenu de la valeur moyenne (prélèvement 24 h), on en déduit une variabilité des charges d'azote réduit en entrée de Steppotentielle importante pendant la journée

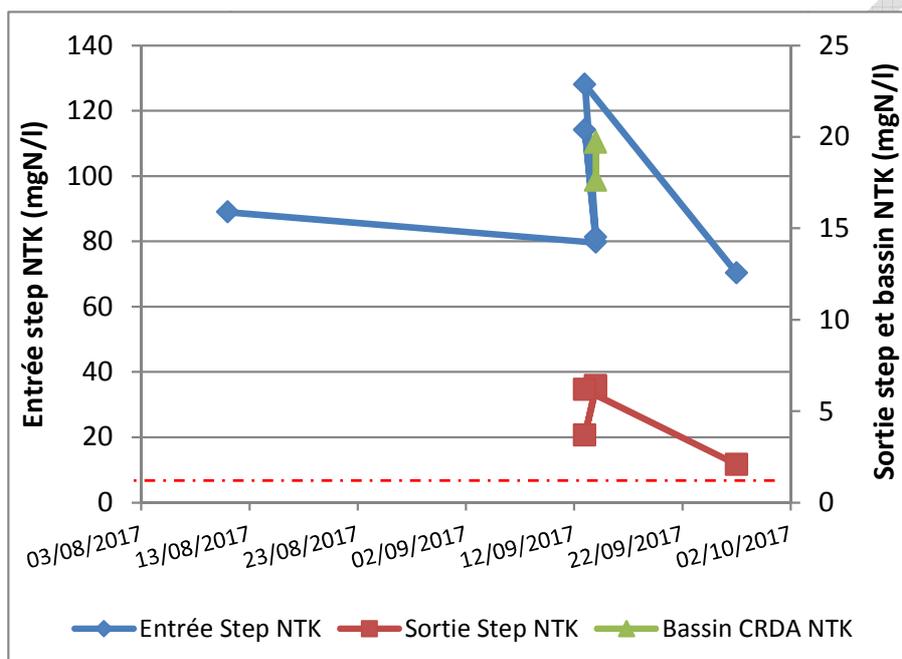


Figure 2 : Valeurs de NTK en entrée-sortie station Nabeul et au niveau du bassin du CRDA (limite réglementaire NT 106.02 en pointillés).

Les valeurs observées en sortie Step ne mettent pas en évidence de relation de cause à effet entre la variabilité des teneurs en NTK en entrée Step et les niveaux de concentrations observables en sortie Step. Les valeurs les plus élevées en sortie ne correspondent pas aux valeurs les plus élevées en entrée.

On note un écart de reproductibilité plus important entre laboratoires avec des écarts allant de 3 à 400%. Ceci peut s'expliquer par une influence plus forte de l'échantillonnage sur l'incertitude globale à un niveau de concentration bas.

La limite de qualité de la norme NT 106.02 (1 mgN/l) n'est respectée sur aucun prélèvement avec des valeurs oscillant entre 2 et 10 mgN/l environ.

On rappellera que la limite réglementaire Tunisienne est **excessivement stricte** s'agissant des rejets dans le domaine public hydraulique puisque, à titre de comparaison, la limite réglementaire en France et en Europe est de 10 mg N/l.

Les résultats de nitrates (NO_3) obtenus entre laboratoires ne sont pas cohérents. Les teneurs obtenus par le laboratoire Greenlab sont jugées anormalement faibles et non prises en compte pour l'interprétation.

La température de conservation des échantillons et leur durée de conservation avant analyses influent de façon très importante sur les teneurs initiales. Des écarts de traitement des échantillons par rapport aux prescriptions normatives peuvent expliquer les différences de résultats entre laboratoires.

Les teneurs en nitrates obtenues le 14/09/17 (CMA) montrent une teneur faible en entrée STEP et relativement élevée en sortie, due à un phénomène de nitrification, ou dit autrement, à l'absence d'étape de dénitrification sur la STEP. La valeur en sortie STEP est supérieure à la limite réglementaire de la norme NT 106.02 (60 mg/l pour 50 mg/l maximum).

Les teneurs en phosphore total en sortie station et au niveau du bassin CRDA sont cohérentes entre laboratoires. La valeur en entrée Step varie du simple au double en revanche (14 et 27 mg/l).

La limite réglementaire de la norme NT 106.02 prévue pour les rejets dans le domaine public hydraulique n'est pas respectée. Comme pour le paramètre NTK, on soulignera que la valeur réglementaire est extrêmement basse et techniquement difficile à respecter pour une Step (20 fois plus basse que la valeur réglementaire actuelle en France qui est de 1 mgP/l).

☞ **Qualité vis-à-vis de la norme REUT (NT 106.03)**

L'analyse de la concentration en NTK dans le bassin CRDA confirme les observations relatives aux indicateurs de pollution carbonée, à savoir une corrélation délicate à établir avec la qualité d'eau de la sortie station à partir d'un prélèvement ponctuel.

Comme pour l'entrée station, des écarts intra-journaliers existent (ex valeurs prélèvement moyen 13-14/09 comparé à la valeur du prélèvement ponctuel du 14/09). Vu les valeurs observées le 14/09/17 (17.6 et 19.7 mg/l), on peut en déduire, soit une **re-contamination de l'eau usée traitée** au niveau du stockage, soit une qualité d'eau de la sortie station beaucoup moins bonne que celle du prélèvement ponctuel.

La norme de qualité d'eau pour la REUT ne prévoit en revanche pas de limite réglementaire. Il n'y a donc pas de non-conformité en jeu pour l'usage.

La concentration d'azote réduit est même bénéfique du point de vue agronomique ajouté aux quelques mg/l de nitrates mesurés.

De la même façon, les teneurs en phosphore résiduel après traitement (2 à 3 mgP/l) ne font pas l'objet de limite réglementaire par la norme NT 106.03 et peuvent contribuer à l'amendement des cultures.

3.1.1.3 Les métaux et les pesticides

L'état zéro réalisé au démarrage de la campagne de prélèvement n'a **pas mis en évidence de teneurs en micropolluants métalliques et organiques quantifiables**, ou à des seuils non significatifs de pollution (tableau ci-dessous).

Les teneurs en bore, fluorures et chlorures témoignent des caractéristiques de l'eau potable utilisée (influence géologique) et de sa transformation à travers les usages domestiques (détergents ou autres produits).

☞ **Qualité vis-à-vis de la norme REUT (NT 106.03)**

L'absence de micropolluants en concentration quantifiable signifie un risque faible de contamination des cultures, des sols et le cas échéant des eaux souterraines par effet

d'accumulation. Néanmoins, un suivi analytique complémentaire sur les produits de culture permettrait d'apprécier de façon plus fiable l'effet éventuel de phyto-accumulation de ces composés, non quantifiables dans les eaux usées traitées (cultures d'agrumes).

Laboratoire	CMA	Points de contrôles analytiques			Limites réglementaires	
Paramètres	Unité	Entrée	Sortie	Sortie PU	NT 106.002	NT 106.03
Date prélèvement		11/08/2017	11/08/2017	11/08/2017	Milieu hydrique	REUT
Metaux et oligoéléments						
Arsenic	mg /L	-	<0.005	<0.005	0.05	0.1
Bore	mg /L	-	0.501	0.32	2	3
Chlorures (C1)	mg /L	-	636	583	600	2 000
Cadmium (Cd)	mg /L	-	0.007	0.009	0.005	0.01
Cobalt (Co)	mg /L	-	<0.021	<0.021	0.1	0.1
Chrome (Cr)	mg /L	-	<0.041	<0.041	0.51 (CrIII+VI)	0.1
Fluorures	mg /L	-	0.69	0.642	3	3
Manganèse (Mn)	mg /L	-	0.028	<0.022	0.5	0.5
Mercure (Hg)	mg /L	-	<0.0002	<0.0002	0.001	0.001
Nickel (Ni)	mg /L	-	<0.019	<0.019	0.2	0.2
Plomb (Pb)	mg /L	-	<0.019	<0.019	0.1	1
Sélénium (Se)	mg /L	-	<0.005	<0.005	0.05	0.05
Zinc (Zn)	mg /L	-	<0.064	<0.064	5	5
Fer	mg /L	-	0.076	0.089	1	5
Cuivre	mg /L	-	<0.026	<0.026	0.5	0.5
Pesticides						
Organochlorés	mg/l	-	<0.00001	<0.00001	0.001	0.1

Figure 3 : Synthèse des résultats de micropolluants et oligoéléments sur la sortie Step Nabeul S4 et le bassin CRDA alimenté.

3.1.1.4 Les paramètres microbiologiques

Les résultats d'analyses microbiologiques en entrée STEP sont globalement peu exploitables du fait des **incertitudes de quantification** des laboratoires ou de leur difficulté même à établir une estimation des concentrations.

Les variations de celles-ci peuvent être de plusieurs puissances de 10 et ne pas être comprises dans l'intervalle de dilution prévue par le laboratoire.

Ici, les concentrations de traceurs fécaux vont de $5 \cdot 10^2$ à plus de 10^5 germes/100 ml. Des valeurs de $1.1 \cdot 10^6$ et $2.8 \cdot 10^6$ germes/100 ml ont pu être quantifiées respectivement pour les entérocoques sur le prélèvement moyen du 13 au 14/09, et pour les E coli sur le prélèvement du 26 au 27/09/17 (résultat Greenlab).

La filière de traitement de la STEP doit présenter une capacité d'abattement moyenne des germes microbiologiques d'au moins 3 logen vue de respecter les limites réglementaires de la norme NT 106.02 pour les paramètres E coli et entérocoques.

Aussi, on n'observe aucun prélèvement sortie STEP conforme aux exigences réglementaires microbiologiques de la NT 106.02.

Les principales causes de non-conformité sont les dépassements de concentrations en traceurs fécaux E coli et entérocoques.

On remarque que les concentrations en E coli et entérocoques sont peu corrélées. Les dépassements règlementaires observés ne portent que sur un des 2 types de germes et les rapports de concentrations entre catégories de germes sont très variables (>10).

Des salmonelles et des vibrions cholériques (*vibrio cholerae*) sont détectés en sortie STEP sur un prélèvement du 13 au 14/09/17. La présence de ces germes est une source de non-conformité des rejets (NT 106.02).

☛ **Qualité vis-à-vis de la norme REUT (NT 106.03)**

Stricto sensu, la norme NT 106.03 ne prévoit que les œufs d'helminthes comme critère microbiologique de qualité d'eau. Elle suit en cela les préconisations de l'OMS (2006) qui établit les épidémies d'helminthiases comme le risque majeur lié à la réutilisation d'eaux usées traitées et propose comme limite de qualité 1 œuf/l maximum.

En effet, les œufs d'helminthes présentent une capacité de survie dans les sols beaucoup plus forte que les bactéries et de ce fait, une viabilité beaucoup plus longue que ces dernières.

La persistance de traceurs fécaux à des concentrations de l'ordre de 10^2 à 10^3 germes/100 ml en sortie station correspond à risque sanitaire important, en premier lieu pour les professionnels.

La détection de vibrions cholériques (*v. cholerae*) confirme la présence de germes pathogènes associés aux forts niveaux de concentrations des traceurs fécaux.

Les cultures d'agrumes correspondent à un risque réduit de transfert des germes microbiologiques aux produits de consommation tant qu'ils sont récoltés sur les arbres. Les produits récoltés au sol devraient faire l'objet de procédures de nettoyage et de désinfection.

3.1.2 Résultats de contrôles de la Step de Charguia

Les résultats obtenus sur la Step de Charguia sont récapitulés ci-dessous.

Laboratoire <i>CITET</i>		Points de contrôles analytiques			Limites réglementaires	
Paramètres	Unité	Entrée	Sortie	Bassin CRDA	NT 106.002	NT 106.03
Date prélèvement		11-12/09/17	11-12/09/17	11-12/09/17	Domaine maritime	REUT
Microbiologie						
E Coli	UFC /100mL	4 600 000	93 000	460 000	2 000	
Entérocoques	UFC /100mL	4 300	24 000	9 300	1 000	
Œufs d'helminthes	œufs /L	Absence	Absence	Absence		Absence
Salmonelles	présence/absence	Absence Présence (1)	Absence Présence (2)	Absence (doublé)	Absence	
Vibrions cholériques	présence/absence	Absence(doublé)	Absence(doublé)	Présence(doublé)	Absence	
Physicochimie						
pH	u.pH	7.4	7.5	7.3	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Température eau	°C	23.9	18.9	24.5		
Conductivité à 25°C	µS /cm	3 660	2 710	30 300		7 000
DCO	mg /L	314	<30	62	90	90
DBO ₅	mg /L	92*	2,2*	<3*	30	30
MES	mg /L	188	6	6	30	30
NTK	mg /L	38	9.15	5.43	30	
NO ₃	mg /L	<0,5	36.1	37	50	
P	mg /L	3.05	1.63	1.73	0.1	
DBO ₇	mg /L	96	2.3	<3		

*DBO5 estimée

(1) salmonelle zanzibar

(2) salmonella london

Laboratoire <i>Eco2lab</i>		Points de contrôles analytiques			Limites réglementaires	
Paramètres	Unité	Entrée	Sortie	Bassin CRDA	NT 106.002	NT 106.03
Date prélèvement		11-12/09/17	11-12/09/17	11-12/09/17	Domaine maritime	REUT
Microbiologie						
E Coli	UFC /100mL	3 600	36	290	2 000	
Entérocoques	UFC /100mL	6 000	180	4 900	1 000	
Œufs d'helminthes	œufs /L	Présence	Absence	Absence		Absence
Salmonelles	présence/absence	Absence (2)	Absence (2)	Absence (2)	Absence	
Vibrions cholériques	présence/absence	Absence (2)	Absence (2)	Absence (2)	Absence	
Physicochimie						
pH	u.pH	7.27	7.34	7.84	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Température eau	°C	-	-	-		
Conductivité à 25°C	µS /cm	3 410	2 580	2 870		7 000
DCO	mg /L	398	58	48	90	90
DBO ₅	mg /L	179	16	15	30	30
MES	mg /L	183	7	13	30	30
NTK	mg /L	23.54	3.36	1.68	30	
NO ₃	mg /L	51.3	38.5	42.7	50	
P	mg /L	2.823	1.713	1.439	0.1	

Ce site n'a pas pu faire l'objet d'un suivi mais seulement d'un état initial.

3.1.2.1 Les indicateurs de pollution carbonée (DCO, DBO₅, MES)

Les résultats de DCO, DBO₅ et MES sont cohérents entre les deux laboratoires sollicités pour les essais croisés.

Les concentrations de matières carbonée en **entrée STEP** sont plutôt faibles avec une DCO de l'ordre de 350 mgO₂/l, une DBO₅ de l'ordre de 150 mgO₂/l et des MES de l'ordre de 180 mg/l.

Les valeurs de conductivité n'expliquent pas les faibles concentrations par un effet de dilution éventuel des eaux sales. Elles sont significativement élevées (3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ environ) et comparables à celles d'effluent brut de stations présentant des concentrations de DCO plus fortes en entrée (Cf. Nabeul ES4).

Le fonctionnement de la STEP est suffisant pour produire un rejet conforme aux limites réglementaires en **sortie STEP** (valeurs significativement inférieures).

☞ **Qualité vis-à-vis de la norme REUT (NT 106.03)**

Le respect des valeurs réglementaires pour les rejets dans le domaine public hydraulique correspond au respect des valeurs réglementaires identiques pour la REUT. Il n'y aurait pas de problématique de nuisance concernant les équipements d'irrigation d'après ces critères.

3.1.2.2 Les paramètres azotés et le phosphore

Les écarts entre laboratoires sur les valeurs de NTK et de nitrates sont significatives sur les prélèvements **entrée STEP** par rapport aux indicateurs DCO, DBO_5 et MES. La concentration de NTK est comprise entre 23 et 38 mgN/l. Cet ordre de grandeur est proportionnel aux concentrations en DCO et DBO_5 .

On relèvera une **incohérence de valeurs de nitrates** entre le résultat obtenu par le laboratoire Citet et par le laboratoire Eco2lab, soit respectivement <0.5 mg/l et 51.3 mg/l. L'écart de résultat ne peut pas être expliqué par un écart de méthode analytique ou d'échantillonnage.

En revanche, des conditions de conservation non respectées avant analyse (température, conditionnement, durée de conservation), soit pendant le transport des échantillons au laboratoire, soit dans le laboratoire peuvent être à l'origine d'une forte évolution de la concentration de départ.

Si la valeur du laboratoire Eco2lab paraît élevée pour une entrée Step (51.3 mg/l), l'absence de concentration quantifiable par le laboratoire CITET paraît également surprenante.

Les valeurs obtenues en **sortie STEP** montrent une meilleure cohérence entre résultats de laboratoires concernant les teneurs en nitrates (entre 35 et 40 mg/l environ) mais une discordance sur la valeur de NTK (9 et 3 mgN/l), comme illustré dans le graphique suivant.

La concentration en nitrates est inférieure à la limite réglementaire mais néanmoins significative. Une évolutivité de l'eau stockée n'est pas écartée avec une augmentation de la concentration en nitrates par effet de nitrification.

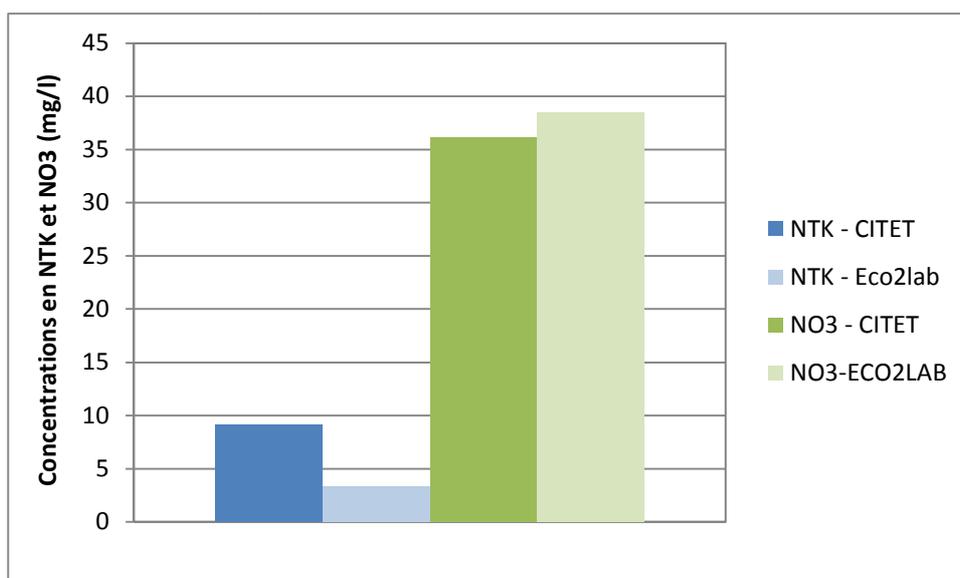


Figure 4 : Comparaison des valeurs de concentrations en NTK et NO3 en sortie station obtenues par deux laboratoires (double échantillonnage).

Tout comme l'azote, le niveau de **concentration de phosphore en entrée station** est proportionnel au niveau de charge organique, c'est-à-dire relativement faible (de l'ordre de 3 mgP/l).

L'abattement en sortie station est moyen (de 30 à 45% environ) et ne permet pas de respecter le niveau de qualité requis par la norme NT 106.02.

☞ **Qualité vis-à-vis de la norme REUT (NT 106.03)**

La teneur moyenne en nitrate des rejets de la station est a priori conforme à la limite réglementaire mais elle est toutefois élevée. Elle constitue une source de nutriments significative pour des usages agricoles.

La faible efficacité du traitement du phosphore explique des valeurs dépassant 1 mg/l au niveau du stockage, donc non-conformes.

Etant donné que les concentrations en nitrates déjà fortes susceptibles d'évoluer à la hausse pendant le stockage (Cf. valeurs bassin CRDA tableau) et le taux résiduel de phosphore en sortie STEP, l'eau usée traitée de la STEP de Charguia représente un intérêt agronomique pour la réutilisation agricole.

3.1.2.3 Les paramètres microbiologiques

Les concentrations en germes fécaux en **entrée STEP** sont de l'ordre de 10^3 germes/100 ml, excepté une valeur de concentration d'E coli à $4.6 \cdot 10^6$ /100 ml (CITET).

Etant donné la faible charge de pollution chimique caractérisée, les concentrations relativement modérées, voir faibles pour une eau usée brute sont cohérentes.

La concentration de 10^6 peut s'expliquer, soit par une prise aliquote pour essai exceptionnellement chargée (effet d'hétérogénéité avec agrégats en suspension), soit par une erreur humaine d'analyse (facteur de puissance erroné).

Le niveau d'abattement requis pour respecter la limite de concentration de la norme NT 106.02 est donc faible puisque les concentrations correspondantes sont du même ordre de grandeur que celles trouvées pour l'effluent brut (de l'ordre de 10^3 germes/100 ml).

Les concentrations en germes fécaux (E coli et entérocoques) en **sortie station** et au niveau du bassin CRDA obtenues par le laboratoire CITET ne sont pas cohérentes avec les valeurs en entrée STEP et difficilement explicables. Ils ne sont pas nécessairement faux et peuvent traduire des contaminations lors du prélèvement et de l'échantillonnage.

Les concentrations en E coli et entérocoques sont significativement inférieures aux limites prévues par la norme NT 106.02. Elles correspondent à des concentrations de puissance 10^1 à 10^2 germes/100 ml, soit des valeurs correspondant à une bonne qualité d'eau en comparaison de différents référentiels d'usage.

Le laboratoire CITET a détecté la présence de salmonelles et de vibrions cholériques en sortie station (et dans le bassin CRDA pour les vibrions) alors que le laboratoire Eco2lab n'a identifié aucune présence de ces germes. On relèvera cet effet de disparité qui rend difficile la qualification d'un effluent sur la base d'un seul prélèvement, même moyen 24h.

Ces résultats sont liés à des valeurs de concentrations en E coli et entérocoques très élevées (10^4 germes/100 ml) comme vu précédemment. Si ces valeurs suscitent une interrogation sur leur représentativité de l'échantillonnage, la confirmation des sérotypes des salmonelles ne laisse pas de doute sur la présence effective de ces bactéries entériques.

Les sérovars identifiés correspondent à des bactéries à pouvoir pathogène comme Salmonella entericaserovar Zanzibar couramment détecté en Tunisie (ChattiAbdelwaheb et al, 2008).

Il est délicat d'interpréter les résultats croisés des deux laboratoires ne mettant pas en évidence, d'une part le même niveau de concentration en germes fécaux E coli et entérocoques, et d'autre part la présence associable à ces niveaux de concentrations, de salmonelles et de vibrions cholériques.

Il convient de se rappeler qu'en l'absence de traitement de désinfection, une eau usée traitée, même dite de bonne qualité, peut comporter des germes pathogènes en probabilité plus forte qu'une eau d'origine naturelle (non polluée).

☞ **Qualité vis-à-vis de la norme REUT (NT 106.03)**

Les résultats microbiologiques obtenus pour le bassin CRDA tendent à indiquer un effet de dégradation de la qualité de l'eau stockée comparée à la qualité en sortie station.

Comme pour les résultats en sortie station, les résultats croisés entre laboratoires ne sont pas cohérents et rendent incertain le diagnostic.

Au-delà de la question de la précision et de la représentativité des valeurs, il devrait être retenu un risque sanitaire non maîtrisé pour la REUT d'après la dégradation de la qualité d'eau du stockage (introduction de germes pathogènes), à moins d'un effet d'échantillonnage.

3.1.3 Résultats de contrôles de la Step de Côtière Nord

Les résultats obtenus en sortie de traitement et au niveau du stockage pour réutilisation sur le lagunage de Côtière Nord sont récapitulés ci-dessous.

Laboratoires		CMA		Limites réglementaires	
Paramètres	Unité	Entrée	Sortie	NT 106.002	NT 106.03
Date prélèvement		08/08/17	08/08/17	Domaine maritime	REUT
Microbiologie					
E Coli	UFC /100mL	>100 000	>33 000	2 000	
Entérocoques	UFC /100mL	>10 000	>10 000	1 000	
Œufs d'helminthes	œufs /L	Absence	Absence		Absence
Physicochimie					
pH	u.pH	-	8	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Température eau	°C	-	18.8		
Conductivité à 25°C	µS /cm	-	4 710		7 000
DCO	mg /L	-	188	90	90
DBO5	mg /L	-	21	30	30
MES	mg /L	-	77	30	30
Metaux et oligoelements					
Arsenic	mg /L	-	<0.005	0.1	0.1
Bore	mg /L	-	0.396	20	3
Chlorures (Cl)	mg /L	-	1190	-	2 000
Cadmium (Cd)	mg /L	-	<0.004	0.005	0.01
Cobalt (Co)	mg /L	-	<0.021	0.1	0.1
Chrome (Cr)	mg /L	-	<0.041	0.51 (CrIII+VI)	0.1
Fluorures	mg /L	-	0.521	5	3
Manganèse (Mn)	mg /L	-	0.043	1	0.5
Mercuré (Hg)	mg /L	-	<0.0002	0.001	0.001
Nickel (Ni)	mg /L	-	<0.019	2	0.2
Plomb (Pb)	mg /L	-	<0.019	0.1	1
Sélénium (Se)	mg /L	-	0.01	0.5	0.05
Zinc (Zn)	mg /L	-	<0.064	10	5
Fer	mg /L	-	0.264	1	5
Cuivre	mg /L	-	0.073	1.5	0.5
Pesticides					
Organochlorés	mg/l	-	<0.00001	0.005	0.1

L'effluent de la STEP est caractérisé par une forte minéralisation (conductivité 4700 µS/cm).

Les concentrations en matière carbonée sont encore significatives d'après les paramètres DCO et DBO₅ (dépassement de la limite NT 106.02 pour la DCO).

La teneur en MES (77 mg/l) tend à indiquer un traitement de clarification non optimal qui explique partiellement les teneurs en DCO.

Les teneurs en métaux et oligoéléments sont inférieures aux limites prévues par la norme NT 106.02 et n'amènent pas de remarque particulière.

En corrélation avec les remarques sur l'efficacité de la STEP pour le traitement des matières carbonées dissoutes et particulaires (clarification), on constate une très mauvaise qualité microbiologique de l'effluent.

Les concentrations en germes microbiologiques sont supérieures à 10^4 germes/100 ml mais cohérentes avec la performance d'un procédé à lagunage.

3.1.4 Résultats de contrôles de la Step de Choutrana 2

Les résultats obtenus sur la Step de Choutrana 2 sont récapitulés ci-dessous.

Laboratoires		CMA	CMA	CMA	Limites réglementaires	
Paramètres	Unité	Entrée	Sortie canal commun	Sortie bassin maturation	NT 106.002	NT 106.03
Date prélèvement		09/08/17	09/08/17	09/08/17	Domaine maritime	REUT
Microbiologie						
E Coli	UFC /100mL	>1000	<40		2 000	
Entérocoques	UFC /100mL	>1000	>1000		1 000	
Œufs d'helminthes	œufs /L	Absence	Absence			Absence
Physicochimie						
pH	u.pH	-	7.7	7.6	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Température eau	°C	-	19.4	25.2		
Conductivité à 25°C	µS /cm	-	7 140	7 630		7 000
DCO	mg /L	-	132	261	90	90
DBO ₅	mg /L	-	21	46	30	30
MES	mg /L	-	152	217	30	30
Metaux et oligoelements						
Arsenic	mg /L	-	<0.005	<0.005	0.1	0.1
Bore	mg /L	-	0.506	0.491	20	3
Chlorures (C1)	mg /L	-	2060	2480	-	2 000
Cadmium (Cd)	mg /L	-	<0.004	<0.004	0.005	0.01
Cobalt (Co)	mg /L	-	<0.021	<0.021	0.1	0.1
Chrome (Cr)	mg /L	-	<0.041	<0.041	0.51 (CrIII+VI)	0.1
Fluorures	mg /L	-	0.482	0.732	5	3
Manganèse (Mn)	mg /L	-	0.079	0.043	1	0.5
Mercuré (Hg)	mg /L	-	<0.0002	<0.0002	0.001	0.001
Nickel (Ni)	mg /L	-	<0.019	<0.019	2	0.2
Plomb (Pb)	mg /L	-	<0.019	<0.019	0.1	1
Sélénium (Se)	mg /L	-	<0.005	<0.005	0.5	0.05
Zinc (Zn)	mg /L	-	<0.064	0.081	10	5
Fer	mg /L	-	1.075	0.725	1	5
Cuivre	mg /L	-	0.101	0.074	1.5	0.5
Pesticides						
Organochlorés	mg/l	-	<0.00001	<0.00001	0.005	0.1

Le point sortie canal commun correspond à un mélange d'eaux usées traitées de la STEP Choutrana 2 et de celles provenant du grand Tunis.

L'effluent de la STEP est caractérisé par une forte minéralisation dépassant les limites maximales de la norme NT 106.03 sur les paramètres chlorures et conductivité. Cet effluent n'est pas assujéti à une limite environnementale par la norme NT 106.02 pour le domaine maritime.

Le traitement de la **DCO** est insuffisant pour respecter la limite de rejet (NT 106.02), vraisemblablement en partie dû à une clarification qui reste à améliorer (fuite de MES).

Les teneurs en métaux et oligoéléments sont inférieures aux limites prévues par la norme NT 106.02 à l'exception du fer. Le léger dépassement observable peut être dû à l'origine naturelle de l'eau ou de produits de traitement. Il ne constitue pas un enjeu sensible sur le plan sanitaire et environnemental.

La qualité microbiologique du bassin CRDA n'a pu être caractérisée pour des raisons de logistique. Toutefois, on constate une qualité physicochimique de l'eau stockée significativement dégradée par rapport à l'effluent de sortie de la station avec des valeurs de DCO et DBO₅ doublées.

Etant donné les valeurs d'entérocoques supérieures à 1000 germes/100 ml en sortie station, on peut extrapoler une concentration plus importante, de même pour E coli.

3.1.5 Résultats de contrôles du canal Khelij (milieu récepteur)

Les résultats obtenus sur le canal Khelij sont récapitulés ci-dessous. Ils constituent une indication sur la qualité d'eau d'un milieu de transport artificiel de l'eau dans lequel sont mélangés des eaux naturelles, des eaux usées traitées et certainement des rejets d'eaux usées brutes non contrôlés.

Laboratoire	CITET	Points de contrôles		Limites réglementaires	
Paramètres	Unité	Canal Khelij	Canal Khelij	NT 106.002	NT 106.03
Date prélèvement		13/09/17	13-14/09/17	Domaine maritime	REUT
Microbiologie					
E Coli	UFC /100mL	-	24 000	2 000	
Entérocoques	UFC /100mL	-	460 000	1 000	
Helminthes	œufs /L	-	Absence		Absence
Salmonelles	présence/absence	Absence	Absence	Absence	
Vibrions cholériques	présence/absence	Absence	Absence	Absence	
Physicochimie					
pH	u.pH	-	7,4	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Température eau	°C	-	19.7		
Conductivité à 25°C	µS /cm	-	3 420		7 000
DCO	mg /L	58	160	90	90
DBO ₅	mg /L	16*	21*	30	30
MES	mg /L	-	85	30	30
NTK	mg /L	9.72	23.2	1	
NO ₃	mg /L	18.4	-	50	
P	mg /L	1.73	-	0.05	
DBO ₇	mg /L	17	22		

Laboratoire	Greenlab	Points de contrôles		Limites réglementaires	
Paramètres	Unité	Canal Khelij	Canal Khelij	NT 106.002	NT 106.03
Date prélèvement		13/09/17	13-14/09/17	Domaine hydraulique	REUT
Microbiologie					
E Coli	UFC /100mL	-	12 000	2 000	
Entérocoques	UFC /100mL	-	1 100 000	1 000	
Nématodes	œufs /L	-	Absence		Absence
Salmonelles	présence/absence	Présence	Présence	Absence	
Vibrions cholériques	présence/absence	Absence	Absence	Absence	
Physicochimie					
pH	u.pH	-	7,55	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Température eau	°C	-	18.3		
Conductivité à 25°C	µS /cm		3 370		7 000
DCO	mg /L	-	152	90	90
DBO ₅	mg /L	-	54	30	30
MES	mg /L	-	100	30	30
NTK	mg /L	11.6	20.4	1	
NO ₃	mg /L	5.66	-	50	
P	mg /L	2.04	-	0.05	
DBO ₇	mg /L	-	-		

☞ Qualité vis-à-vis de la norme REUT (NT 106.03)

Il faut retenir principalement des résultats la très mauvaise qualité microbiologique de l'eau et le risque sanitaire correspondant à son utilisation en l'état.

En dépit de l'absence d'œufs d'helminthes et de vibrions cholériques, les concentrations en E coli et entérocoques sont du même ordre de grandeur qu'une eau usée brute (10^4 à 10^6 germes/100ml).

Elles impliquent une présence potentielle forte de germes pathogènes (virus, bactéries, protozoaires). On note la présence de salmonelle à 2 reprises (prélèvement ponctuel et moyen de Greenlab).

Sur la plan physicochimique, les limites réglementaires sur les paramètres DCO, DBO₅, MES et phosphore sont dépassées (NT 106.02). Si le phosphore peut être considéré comme bénéfique pour la REUT, les autres paramètres impliquent des sources de nuisances fortes sur les réseaux d'irrigation (colmatage, perte de pression, prolifération biologique, etc.).

3.1.6 Résultats de contrôles de la nappe d'eau souterraine de Sfax

Les résultats obtenus sur 2 puits d'exploitation de la nappe d'eau souterraine de Sfax sont récapitulés ci-dessous. Ils constituent une indication sur l'impact potentiel de la REUT des eaux usées de la STEP de Sfax Sud utilisées pour l'irrigation (arbres fruitiers et fourrages).

Pour comparaison du niveau de qualité d'eau, nous avons utilisé les limites de qualité d'eau pour la consommation humaine. S'agissant d'une eau souterraine, cette comparaison permet d'évaluer sa vulnérabilité et la qualité de son état par rapport à des niveaux de valeurs caractéristiques d'un état non pollué.

Laboratoires		CITET		Eco2lab	
Paramètres	Unité	Puits Sidi Abid 1	Puits Sidi Abid 1	NT 09.14	NT 106.03
Date prélèvement		15/09/17	15/09/17	Eau destinée à la consommation humaine	REUT
Microbiologie					
E Coli	UFC /100mL	7	<1	0	
Entérocoques	UFC /100mL	<3	<1	0	
Œufs d'helminthes	œufs /L	-	Absence		Absence
Salmonelles	présence/abs	Absence	Absence		
Vibrions cholériques	présence/abs	Absence	Absence		
Physicochimie					
pH	u.pH	7.1	6.91	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Température eau	°C	19.2	20		
Conductivité à 25°C	µS /cm	10 100	8 390	300 - 2500	7 000
DCO	mg /L	<30	<30		90
DBO5	mg /L	1.5	<3		30
MES	mg /L	4	2	3 NTU	30
NTK	mg /L	2.57	0.84	1	
NO ₃	mg /L	-	212	45	
P	mg /L	<0,05	1.072	0.05	
Metaux et oligoelements					
Chlorures (Cl)	mg /L	1 870	2 396	500	2 000
Cadmium (Cd)	mg /L	0.003	0.004	0.005	0.01
Cobalt (Co)	mg /L	0.04	<0.001		0.1
Chrome (Cr)	mg /L	<0.010	0.016	0.05	0.1
Manganèse (Mn)	mg /L	<0.010	<0.0004	0.5	0.5
Mercuré (Hg)	mg /L	<0.0002	<0.0001	0.001	0.001
Nickel (Ni)	mg /L	0.038	<0.002	0.07	0.2
Plomb (Pb)	mg /L	<0.010	0.007	0.025	1
Sélénium (Se)	mg /L	<0.005	<0.007	0.01	0.05
Zinc (Zn)	mg /L	<0.010	0.066	5	5
Fer	mg /L	<0.010	-	0.2	5
Cuivre	mg /L	<0.010	-	2	0.5

Laboratoires		CITET		Eco2lab	
Paramètres	Unité	Puits Sidi Abid 2	Puits Sidi Abid 2	NT 09.14	NT 106.03
Date prélèvement		15/09/17	15/09/17	Eau destinée à la consommation humaine	REUT
Microbiologie					
E Coli	UFC /100mL	1 100	<1	0	
Entérocoques	UFC /100mL	4 600	110	0	
Œufs d'helminthes	œufs /L	ND	Absence		Absence
Salmonelles	présence/absence	Absence	Absence		
Vibrions cholériques	présence/absence	Absence	Absence		
Physicochimie					
pH	u.pH	7.2	7.03	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Température eau	°C	19.6	20		
Conductivité à 25°C	µS /cm	8 590	7 730	300 - 2500	7 000
DCO	mg /L	<30	<30		90
DBO5	mg /L	1.7	<3		30
MES	mg /L	23	3	3 NTU	30
NTK	mg /L	2	1.12	1	
NO ₃	mg /L	-	110	45	
P	mg /L	<0.05	0.584	0.05	
Metaux et oligoelements					
Chlorures (Cl)	mg /L	1 880	1 828	500	2 000
Cadmium (Cd)	mg /L	0.004	0.001	0.005	0.01
Cobalt (Co)	mg /L	<0.010	<0.001		0.1
Chrome (Cr)	mg /L	<0.010	0.009	0.05	0.1
Manganèse (Mn)	mg /L	<0.010	<0.0004	0.5	0.5
Mercure (Hg)	mg /L	<0.0002	<0.0001	0.001	0.001
Nickel (Ni)	mg /L	<0.010	<0.002	0.07	0.2
Plomb (Pb)	mg /L	<0.010	0.003	0.025	1
Sélénium (Se)	mg /L	<0.005	<0.007	0.01	0.05
Zinc (Zn)	mg /L	<0.010	0.048	5	5
Fer	mg /L	<0.010	-	0.2	5
Cuivre	mg /L	<0.010	-	2	0.5

3.1.6.1 La salinité

La salinité de la nappe est globalement très élevée (conductivité comprise entre 8000 et 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ approximativement).

Les puits Sidi Abid correspondent à une nappe phréatique de surface en situation côtière. En raison de la forte exploitation de cette ressource pour l'irrigation notamment, celle-ci fait l'objet d'intrusions salines marines. On note que cette eau naturelle présente une conductivité supérieure à la limite maximale prévue pour la réutilisation des eaux usées traitées (7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

L'irrigation des périmètres irrigués avec les eaux usées traitées de la station de Sfax Sud peuvent contribuer à accentuer cette salinité par effet de migration des sels dissous mais elle n'est pas à l'origine de la forte salinité de l'eau souterraine.

On remarque un biais de mesure entre les laboratoires CITET et Eco2lab. Les valeurs obtenues par le laboratoire Eco2lab sont inférieures de 10 à 20% aux valeurs du laboratoire CITET.

Les écarts peuvent provenir de différences matérielles (constantes de cellule des conductimètres inadaptées à la plage de mesure directe des échantillons salins) ou un défaut de calibrage de l'instrument pour une mesure à conductivité élevée.

L'examen des teneurs en chlorures montre que l'hypothèse d'une différence de mode opératoire ou de performance des appareils de mesure de conductivité est à retenir pour le puits 2 car les valeurs de chlorures confirment que les laboratoires ont traité des échantillons de minéralisation équivalente. La conductivité de 10 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ obtenue par le CITET sur le puits 1 n'est pas cohérente avec la concentration en chlorure comparable au puits 2 (de l'ordre de 1900 mg/l).

Aux incertitudes de mesure près, on note que le puits 1 correspond à une zone plus salinisée de la nappe.

Ceci peut s'expliquer par la situation géographique du puits (influence côtière), par une exploitation plus forte.

3.1.6.2 Les indicateurs de pollution carbonée (DCO, DBO₅, MES)

Les limites de quantification de la DCO selon la norme NF T 90-101 ne sont pas suffisamment sensibles pour mettre en évidence une contamination en matières oxydables de la nappe (puits 1 et 2). A défaut, les résultats <30 mgO₂/l montrent qu'il n'y a pas de pollution « forte » de l'eau souterraine.

Les valeurs de DBO₅ quantifiées par le laboratoire CITET tendent à indiquer, de façon plus fine et plus spécifique car relatives à la matière carbonée dissoute biodégradable, une bonne qualité d'eau (valeurs entre 1 et 2 mgO₂/l).

Toutefois, la concentration en DBO₅ d'une eau souterraine bien protégée et non contaminée est inférieure à 1 mgO₂/l. Les résultats observés à plus de 1 mgO₂/l doivent donc susciter une vigilance sur l'évolution de la qualité de l'eau et ne pas être considérés comme indicateur d'une problématique négligeable.

Les valeurs de MES de 2 à 4 mg/l correspondent à l'entraînement normal de limons et d'argiles lors des opérations de pompage. Ces valeurs peuvent être extrapolées à des

turbidités de quelques NTU proches de la limite de qualité pour l'eau de consommation. Il s'agit d'eaux parfaitement claires à l'œil nu.

La valeur de 23 mg/l de MES obtenue sur le puits 2 par le laboratoire CITET est anormale pour une eau souterraine. Elle peut s'expliquer par un débouillage de sédiments fins pendant le pompage. La nature des particules est minérale car la DBO₅ ne « répond » pas en conséquence. Elle est comparable à la valeur obtenue pour une faible teneur en MES (de l'ordre de 1.5 mgO₂/l).

3.1.6.3 Les paramètres azotés et phosphorés

Les résultats d'analyses de NTK mais surtout de nitrates (NO₃) montrent que la nappe est fortement soumise aux intrants agricoles (fertilisants) ou impactée par l'irrigation avec les eaux usées traitées de Sfax, sous réserves que celles-ci sont riches en nitrates (rejets non caractérisés).

Les concentrations de nitrates mesurées par le laboratoire Eco2lab vont environ de 100 à 200 mg/l sur les 2 puits. L'eau est impropre à la potabilisation et sa **concentration en nitrates est de 2 à 4 fois supérieure à la limite prévue pour les rejets d'eaux usées traitées dans le domaine public hydraulique.**

La présence de phosphore en concentration significative d'après les résultats d'un des 2 laboratoires (Eco2lab) témoigne également d'une forte pression polluante sur la nappe phréatique.

La valeur moyenne est environ 20 fois supérieure à la limite réglementaire Tunisienne prévue pour les rejets, ou de l'ordre de la limite réglementaire Européenne et Française.

NB : un écart important de mesure sur le paramètre phosphore apparaît entre les deux laboratoires. Le laboratoire CITET ne trouve pas de concentration quantifiable (<0.05 mgP/l) tandis que le laboratoire Eco2lab quantifie des valeurs de 0.5 et plus de 1 mgP/l. Cet écart ne peut pas être expliqué par une différence de moyens ou de méthode analytiques.

3.1.6.4 Les paramètres microbiologiques

Les investigations sur les paramètres microbiologiques mettent en évidence une contamination de la nappe mal caractérisée par les résultats des laboratoires.

Le puits 1 ne semble pas faire l'objet d'une contamination microbiologique évidente. Hormis une concentration de 7 E coli/100 ml obtenue par un des deux laboratoires, aucun germe microbiologique recherché n'a été détecté ou quantifié (entérocoques, vibrions cholériques, salmonelles, œufs d'helminthes).

Les résultats sur le puits 2 sont plus contrastés. Le laboratoire Citet met en évidence une forte contamination de la nappe par les germes E coli et entérocoques (niveaux de concentrations de 10³ germes/100ml) tandis que le laboratoire Eco2lab ne trouve pas d'E coli en concentration quantifiable et mesure une concentration en entérocoques de 110 germes/100 ml.

Il y a absence d'œufs d'helminthes, de salmonelles et de vibrions cholériques pour les deux laboratoires.

Malgré la variabilité des résultats obtenus, la vulnérabilité de la nappe à des intrants de type eaux résiduaires ou déjections (fumier, lisier) est établie.

3.1.6.5 Les métaux et oligoéléments

Les teneurs en éléments métalliques sont non quantifiables pour la plupart. Les concentrations mises en évidence correspondent à des traces non significatives de pollution.

On remarque des concentrations en zinc de l'ordre de 0.05 mg/l qui peuvent provenir des eaux usées traitées d'irrigation concentrant elles-mêmes les pollutions domestiques.

3.2 Résultats des analyses des Sols

3.2.1 Sols du périmètre de Sfax (El Hajeb)

D'après l'étude pédologique du périmètre d'El Hajeb - HYDROPLANT – Décembre 2014 – l'unité de sol décrite sur les parcelles de la zone d'étude des sols pour le présent diagnostic de REUT du périmètre irrigué d'El Hajeb correspond à un sol peu évolué, non climatique, d'apport alluvial, modal sur alluvions ou FLUVIOSOL.

Quatre parcelles irriguées avec des EUT de mauvaise qualité ont été prélevées et analysées par deux laboratoires. Les deux premières parcelles ont bénéficié de prélèvements sur les 2 campagnes (juillet 2017 et septembre 2017).

Les sondages tarières révèlent effectivement des sols sableux, calcaires, non caillouteux, profonds, d'aptitude moyenne à une mise en valeur agricole de type cultures annuelles, cultures fourragères et arboriculture.

La parcelle du domaine gérée par l'OTD est complantée d'oliviers avec dans les larges inters rangs une culture de luzerne. La parcelle ayant été irriguée la veille on observe une couche de boue nauséabonde provenant de la mauvaise qualité de l'eau usée traitée (Cf. diagnostic des dysfonctionnements de la STEP de SFAX Sud). Des signes de brûlure de la luzerne et des zones sans luzerne sont observées.

Les parcelles fourragères prélevées chez des privés ont les mêmes caractéristiques de sols sableux, plus sec et en juillet il n'y avait pas de couche de boue visible en surface.

3.2.1.1 Parcelle d'oliviers et luzerne de l'OTD 0 -20 cm

- la texture est largement dominée par les sables
- les valeurs de pH sont basiques, comprises entre 7,8 et 8,4
- les valeurs de conductivité sont comprises entre 350 et 588 $\mu\text{S}/\text{cm}$ cette couche est peu salée et les valeurs sont en hausse en septembre par rapport à juillet
- la CEC est faible mais les valeurs sont très disparates .
- les valeurs du taux de carbone organique sont très variables,
- les teneurs en éléments traces varient beaucoup d'un laboratoire à l'autre ; toutes les teneurs mesurées restent inférieures aux valeurs limites dans les sols (Cf. arrêté de la république française concernant les épandages de boues). Ces valeurs sont reprises par la législation française qui réglemente les EUT utilisées en irrigation agricole. Les teneurs en zinc et en chrome sont certes faibles mais ces deux ET sont toujours présents en quantité plus ou moins notable.
- des œufs de nématodes ont été dénombrés dans un des échantillons de terre

3.2.1.2 Parcelle de fourrage 0-20cm

- la granulométrie est dominée par les limons grossiers et les sables fins, la texture est de type limono-argilo-sableuse
- les pH sont peu basiques, comprises entre 7,5 et 7,8
- les conductivités sont élevées comprises entre 1165 et 2160 $\mu\text{s}/\text{cm}$ cette couche est très salée et sans variation notable entre juillet et septembre.
- la CEC est correcte.
- les valeurs du taux de carbone organique sont très variables,
- les teneurs en éléments traces (ET) varient beaucoup ; les teneurs restent inférieures aux valeurs limites dans les sols (Cf. arrêté de la république française concernant les épandages de boues). Ces valeurs sont reprises par la législation française qui réglemente les EUT utilisées en irrigation agricole. Les teneurs en zinc et en chrome sont faibles mais ces deux ET sont toujours présents en quantité plus ou moins notable.
- Des œufs de nématodes ont été dénombrés dans les échantillons de terre des deux campagnes analysées par Eco2lab

Les deux autres parcelles étudiées ne l'ont été qu'au cours de la campagne de routine de septembre.

3.2.1.3 Parcelle de Mohamed KARRAY, irriguée avec des EUT

- la texture est largement dominée par les sables
- les valeurs de pH sont légèrement basiques, avec une valeur moyenne de 7,65.
- les valeurs de conductivité sont inférieures à la valeur seuil de 500 $\mu\text{s}/\text{cm}$, cette terre est non salée ;
- les valeurs de CEC sont différentes l'interprétation est délicate.
- les valeurs du taux de carbone organique sont très variables,
- les teneurs en éléments traces varient peu entre les 2 laboratoires ; les valeurs restent inférieures aux valeurs limites dans les sols (Cf. arrêté de la république française concernant les épandages de boues). Ces valeurs sont reprises par la législation française qui réglemente les EUT utilisées en irrigation agricole.
- Des œufs de nématodes ont été dénombrés dans un des échantillons de terre

3.2.1.4 Parcelle de Jawher BOUZGANDA, irriguée avec des EUT

- La texture est plus équilibrée de type sablo argileuse.
- les valeurs de pH sont légèrement basiques, avec une valeur moyenne de 7
- les valeurs de conductivité sont comprises entre 548 et 625 $\mu\text{s}/\text{cm}$, cette terre est peu salée ;
- les valeurs de CEC sont très différentes donc l'interprétation est délicate et faible.
- les valeurs du taux de carbone organique sont très variables,
- les teneurs en éléments traces varient peu entre les 2 laboratoires ; les valeurs restent inférieures aux valeurs limites dans les sols (Cf. arrêté de la république française concernant les épandages de boues). Ces valeurs sont reprises par la législation française qui réglemente les EUT utilisées en irrigation agricole.
- Des œufs de nématodes ont été dénombrés dans un des échantillons de terre.

SFAX 10-20 cm							SFAX 2 0-20 cm						
		SNPC	ECO2 LAB	ECO2 LAB	CMA	LDM			SNPC	ECO 2 LAB	Eco2Lab	CMA	LDM
SOLS	Unité	Parcelle Irriguée EUT	Parcelle Irriguée EUT	parcelle irriguée EUT	Parcelle irriguée EUT	Parcelle irriguée EUT	SOLS	Unité	Parcelle Irriguée EUT	Parcelle irriguée EUT	Parcelle Irriguée EUT	Parcelle Irriguée EUT	Parcelle irriguée EUT
Nom propriétaire		SFAX 1: OTD	SFAX 1: OTD	SFAX 1 OTD	OTD	OTD	Nom propriétaire		SFAX 2	SFAX 2	Ali Chemmi	Ali Chemmi	OTD
Coordonnées GPS				N3440469-E01038142	N3440469-E01038142		Coordonnées GPS				N3439506-E01040225	N3439506-E01040225	
Campagne		JUILLET	JUILLET	14-sept	14-sept	JUILLET	Campagne		JUILLET	JUILLET	14-sept	14-sept	JUILLET
Microbiologie							Microbiologie						
Nématodes	œufs /L		Présence	présence	absence	ND	Nématodes	œufs /L		Présence	présence	absence	ND
Physicochimie							Physicochimie						
pH		8,45	8,11	7,88	8,3	7,8	pH		7,8	7,64	7,53	7,8 à 22,6°	7,6
Conductivité à 25°	(µs/cm)	401	395	547	588	349	Conductivité à 25°	(µs/cm)	2160	1320	1165	1490	1720
TDS	mg/L	200	431	1,07	nd	ND	TDS	mg/L	1077	1439	1,01	ND	ND
COT	g/kg MS	437	0,49	6,42	19,12	8	COT	g/kg MS	212	1,13	8,82	34	1,4
Cations échangeables	Ca		10,72	0,68		3,3	Cations échangeables	Ca		9,89	1,19		4,32
	Mg		3,36	0,98		0,21		Mg		3,11	1,7		1,03
	K		3,05	601		0,04		K		1,58	1297		0,01
CEC	(meq/100g)		17,24	1143	0,05	6,1	CEC	(meq/100g)		14,66	834	0,057	20,2
NTK	%	0,99	980	0	67	0,77	NTK	%	1,79		0	91	0,14
Carbonates	%		0	47,95		nd	Carbonates	%		0	36,54		nd
Bicarbonates	%		58,21	479	279	nd	Bicarbonates	%		36,6	888	938	nd
Cl	mg/kg MS		710	472,34	194	91	Cl	mg/kg MS		1420	902,13	559	579
NO3	mg/kg MS		876,6	3031	248,6	ND	NO3	mg/kg MS		153,19	1307	1,01 10^3	ND
SO4	mg/kg MS		1635	8,2	6,47	ND	SO4	mg/kg MS		2446	11,8	6,32	ND
Na	mg/kg MS	0,32	61,69	6,783	1,05	831	Na	mg/kg MS	0,64	7,817	7,061	1,05	659
K	g/kg MS	1,165	21,28	7,151	2,62	42,33	K	g/kg MS	1,288	10,36	9,867	3,04	0,04
Ca	g/kg MS	5,817	39,39	19,27	12,4	7,35	Ca	g/kg MS	6,522	32,67	30,03	12,2	7,35
Mg	g/kg MS	0,35	6,94	2,982	2,31	0,23	Mg	g/kg MS	0,444	6,631	4,551	2,1	0,23
P	g/kg MS	0,24	878,8	126	1,2	0,3	P	g/kg MS	663,8	741	123,6	845,5	0,3
Cd	mg/kg MS	<0,01	0,5	<0,2	<0,005	<0,01	Cd	mg/kg MS	<0,01	<0,02	<0,02	<0,005	<0,01
Cr	mg/kg MS	66,7	13,1	23,4	10,5	21,3	Cr	mg/kg MS	116,70%	18,3	36,3	15,5	32,9
Cu	mg/kg MS	<0,01 %	4,3	9	3,35	7,7	Cu	mg/kg MS	<0,01 ppm	1,9	11,3	<0,01	9,4
Ni	mg/kg MS	<0,01	0,4	5,1	4,85	6	Ni	mg/kg MS	<0,01	2,6	9,6	7,65	12,5
Hg	µg/kg MS	<0,01	<0,01	<0,1	<0,0005	0,011	Hg	µg/kg MS	<0,01	<0,01	<0,01	<0,0005	0,01
Pb	mg/kg MS	13,1	1,5	<0,5	3,05	10,5	Pb	mg/kg MS	17,9	<0,5	<0,5	4	15,5
Zn	mg/kg MS	54,9	17,5	30,8	15,5	40,1	Zn	mg/kg MS	84,7	20,8	66,2	27,5	111
Granulométrie	sable total	64,69	73,9	82,95	<0,2mm 19,8 %	30	Granulométrie	Sable total	69,06	41,15	64,55	<0,2mm 6,25 %	30
en %	limon total	27,27	10,7	3,85	entre 0,2 et 0,315mm 13,6 %	41	en %	limon total	29,1	37,6	11,2	entre 0,2 et 0,315mm 8 %	41
	argile	8,03	12,3	9,3	entre 0,315 et 0,5mm 15,4 %	29		argile	1,84	17,9	21,05	entre 0,315 et 0,5mm 1,75 %	29
					entre 0,5et 1mm 11 %							entre 0,5et 1mm 7,75 %	
					entre 1 et 1,25mm 1 %							entre 1 et 1,25mm 3,25 %	
					entre 1,25 et 2mm 3,4 %							entre 1,25 et 2mm 9 %	
					>2mm 35,8 %							>2mm 64 %	

		LABO CMA		Eco2Lab			
SOLS	Unité	Parcelle Irriguée EUT	Parcelle irriguée EUT	SOLS	Unité	Parcelle irriguée EUT	Parcelle irriguée EUT
Nom propriétaire		Mohamed Karray	Mohamed Karray	Nom propriétaire		Jawher Bouzganda	Jawher Bouzganda
Coordonnées GPS		N3439595-E01040038	N3439595-E01040038	Coordonnées GPS		N3442400-E01040075	N3442400-E01040075
Date de réception des ech		14-sept	14-sept	Date de réception des ech		14-sept	14-sept
Microbiologie				Microbiologie			
Nématodes	œufs /L	absence	présence	Nématodes	œufs /L	absence	présence
Physicochimie				Physicochimie			
pH		7,8	7,51	pH		7,7	7,74
Conductivité à 25°	(µs/cm)	831	823	Conductivité à 25°	(µs/cm)	548	625
TDS	mg/L	17,8	0,85	TDS	mg/L	36	1,24
COT	g/kg MS		7,65	COT	g/kg MS		8,15
Cations échangeables (cmol+/kg)	Ca		0,77	Cations échangeables (cmol+/kg)	Ca		0,82
	Mg		0,92		Mg		1,6
	K		906		K		685
CEC	(meq/100g)	0,053	559	CEC	(meq/100g)	0,026	1429
NTK	%	87	0	NTK	%	54	0
Carbonates	%		42,02	Carbonates	%		78,52
Bicarbonates	%	607	533	Bicarbonates	%	261	710
Cl	mg/kg MS	326	625,53	Cl	mg/kg MS	13	238,3
NO3	mg/kg MS	448,4	1045	NO3	mg/kg MS	399,5	1603
SO4	mg/kg MS	6,24	9,44	SO4	mg/kg MS	12,39	10,67
Na	mg/kg MS	0,73	5,908	Na	mg/kg MS	1,09	6,24
K	g/kg MS	2,7	6,466	K	g/kg MS	3,16	10,76
Ca	g/kg MS	12,5	26,79	Ca	g/kg MS	9,7	27,09
Mg	g/kg MS	2,54	2,721	Mg	g/kg MS	2,01	3,364
P	g/kg MS	1,44	61,75	P	g/kg MS	893,5	96,04
Cd	mg/kg MS	<0,005	<0,02	Cd	mg/kg MS	<0,005	<0,02
Cr	mg/kg MS	20,9	22,6	Cr	mg/kg MS	13	41,2
Cu	mg/kg MS	10	10,2	Cu	mg/kg MS	<0,01	12,1
Ni	mg/kg MS	11,15	5,7	Ni	mg/kg MS	8,15	10,9
Hg	µg/kg MS	<0,0005	<0,01	Hg	µg/kg MS	<0,0005	<0,01
Pb	mg/kg MS	4,5	<0,05	Pb	mg/kg MS	3,5	<0,5
Zn	mg/kg MS	29	44,5	Zn	mg/kg MS	30,36	52,5
Granulométrie		<0,2mm 5,23 %		Granulométrie		<0,2mm 52 %	
sable total		entre 0,2 et 0,315mm 25,58 %	82,7	sable total		entre 0,2 et 0,315mm 18,8 %	56,2
limon		entre 0,315 et 0,5mm 19,47 %	4,6	limon		entre 0,315 et 0,5mm 0,8 %	15,9
argile		entre 0,5et 1mm 13,95 %	8,85	argile		entre 0,5et 1mm 9 %	24,4
		entre 1 et 1,25mm 1,74 %				entre 1 et 1,25mm 2,8 %	
		entre 1,25 et 2mm 5,52 %				entre 1,25 et 2mm 7,6 %	
		>2mm 27,33 %				>2mm 9 %	

3.2.2 Sols du périmètre de BorjTouil

D'après l'étude pédologique du périmètre de BorjTouil - SERAH - Avril 2010 - 3 unités de sols ont été décrites sur l'ensemble de la zone d'étude des sols du périmètre irrigué de BorjTouil. Les parcelles sondées et prélevées sont toutes situées dans l'unité des sols peu évolués d'apport alluvial (matériaux alluvionnaires fins) et à caractère vertique (sol caractérisé par la présence d'argiles gonflantes présentant des faces de glissement).

3.2.2.1 Parcelle 1 sorgho irrigué avec des EUT (coordonnées GPS N3656357 -E01007572)

Les prélèvements sont faits à deux niveaux de profondeur de 0 à 30 cm et de 30 à 60 cm. Le sondage tarière effectué sur la parcelle n°1 (sorgho fourrager irrigué avec des EUT) révèle :

- 0 - 30cm : brun jaunâtre, texture limono-argileuse, calcaire, moyennement organique, de salinité moyenne due essentiellement aux chlorures de sodium avec un risque de brûlure des cultures les plus sensibles à un excès de sels..
- 30-60cm : brun jaunâtre, plus sableux, texture de limon sablo-argileux, calcaire.

Deux laboratoires tunisiens (SNPC et GREEN LAB) et un laboratoire français agréé (LDM) pour les analyses de terre ont été testés avec les échantillons de juillet 2017 et deux autres (ECO2 LAB et CITET) avec les prélèvements de septembre 2017 sur les 3 parcelles suivies.

Parcelle 1 sur la profondeur 0-30cm : l'interprétation porte uniquement sur le pH, la salinité du sol, le carbone organique, la CEC, la présence d'œufs d'helminthes et les teneurs en éléments traces.

Le tableau des résultats analytiques devrait permettre de comparer tous les résultats sauf lorsque les méthodes diffèrent ainsi que l'expression des résultats.

- la granulométrie retenue est celle du laboratoire LDM à savoir une texture limono-argilo-sableuse
- Les valeurs de pH sont nettement basiques,
- les valeurs de conductivité sont comprises entre 331 et 822 $\mu\text{s}/\text{cm}$ qui représentent une trop grande variation inexplicée ; néanmoins avec une médiane à 447 $\mu\text{s}/\text{cm}$ cette couche est légèrement salée, l'évolution de la salinité doit être surveillée régulièrement. La salinité est due essentiellement aux chlorures de sodium avec un risque de brûlure des cultures les plus sensibles à un excès de sels.
- la CEC a une valeur médiane de 19,4 meq/100g, peu élevée.
- la médiane du taux de carbone organique est relativement élevée et traduit vraisemblablement l'apport de matière organique par les EUT, cette couche est donc moyennement organique,
- les teneurs en éléments traces varient peu et les valeurs sont inférieures aux valeurs limites dans les sols selon l'arrêté français concernant les épandages de boues et qui est repris par la législation française qui règlemente les EUT utilisées en irrigation agricole. Certaines valeurs de chrome et de zinc sont un peu élevés, à surveiller.
- aucun œuf de nématodes n'a été dénombré dans les échantillons de cette couche.
- lorsque les valeurs sont comparables il y a peu de variation entre les valeurs de la campagne de juillet et de celles de la campagne de septembre.

		SNPC	GREEN LAB	ECO2 LAB	CITET	LDM
SOLS	Unité	Parcelle 1 fourrage irrigué avec des EUT . Echantillon de terre 0 -30cm	Parcelle 1 fourrage irrigué avec des EUT Echantillon de terre 0 -30cm	Parcelle de fourrage irriguée avec des EUT	1 Parcelle de fourrage irriguée avec des EUT Echantillon de terre 0 -30cm	1 Parcelle de fourrage irriguée avec des EUT Echantillon de terre 0 -30cm
Nom propriétaire		Hedi el Arif	Hedi el Arif	Hedi el Arif		
Coordonnées GPS		N3656357 -E01007572	N3656357 -E01007572	N3656357 -E01007572		
Date de réception des ech		16/09/2017	16/09/2017	13/07/2017	13/07/2017	13/07/2017
Microbiologie						
Nématodes	œufs /L	Absence	Absence	Absence	Absence	Non déterminé
Physicochimie						
pH		8,400	8,43	8,1	8,3	7,9
Conductivité à	(µs/cm)	331	594	822	980	562
CEC	(meq/100g)	838,7	22	13,29	ND	16,8
COT	(%matière sèche)	8,140	1,59	0,87	2,66	1,2
Cations échangeables (cmol+/kg)	Ca	772,2 meq/100g	10,7		ND	8,5mg/kg
	Mg	37,1 meq/100g	3,06		ND	0,58 mg/kg
	K	24,46 meq/100g	0,673		ND	0,24mg/kg
Taux De Sels	mg/L	166	ND	ND	285	ND
NTK	%	0,15	0,075	0,126	8,57 mg/l	0,01
Carbonates	%	23,12	32		0	32,20%
Bicarbonates	%	23,5	8,4	85	219 mg/l	
Cl	ppm	243,910	570	621 mg/kg	57,5mg/l	171 mg /kg
NO3	ppm	89,890	19	340 mg/Kg	17,8 mg/l	
SO4	%	0,270	220	2349 mg/kg	25,9 mg/l	
CEC	(meq/100g)	838,7	22	13,29	ND	16,8
Na	ppm	774	993	30,72 g/kg	40,6 mg/l	0,36 g/kg
K	%	0,950	3,22	10,03g/kg	2,52 mg/l	0,24 g/kg
Ca	%	15,419	161	33,8 g/KG	25,9 mg/l	8,5 g /Kg
Mg	%	0,44	5,62	0,759 g/kg	5,36 mg/l	0,02 g/kg
P	%	<0,01	375	494 mg /kg	0,85 mg/l	449 g/kg
Cd	%	<0,01%	0,822	< 0,02	< 0,01 mg/l	<0,01
Cr	ppm	99,860	44,4	39,2	0,02 mg/l	32,2
Cu	ppm	12,990	15,7	18,1 g	< 0,01 mg/l	10,6
Ni	%	<0,01	24,3	13,1	< 0,01 mg/l	16,9
Hg	%	<0,01	<3,51	< 0,01	< 0,0002 mg/l	0,12
Pb	ppm	27,49	21	< 0,5	< 0,01 mg/l	17,1
Zn	ppm	85,34	88,5	82,5	< 0,052 mg/l	102 mg/kg
Granulométrie		> 2000 µm 71,7%	Argile 35,8%	Argile 34%	ND	Argile 28 %
		Entre 250 et 2000 µm 27,76	Limon 23%	Limon 23 %	ND	Limon 54 %
		< 125 µm 0,54%	Sable tot 38,1%	Sable tot 39%	Sables totaux 29 %	Sable tot 18 %

3.2.2.2 Parcelle 2 profondeur 0-30cm :

- la granulométrie retenue est celle du laboratoire LDM à savoir une texture de limon-sablo- argileux.
- Les valeurs de pH sont nettement basiques,
- les valeurs de conductivité sont comprises entre 457 et 800 μ s/cm et présentent une trop grande variation inexplicée, néanmoins avec une médiane à 645 μ s/cm cette couche est salée, l'évolution de la salinité doit être surveillée régulièrement. La salinité est due essentiellement au chlorure de sodium avec un risque de brûlure des cultures les plus sensibles à un excès de sels.
- la CEC a une valeur médiane de 20,5 meq/100g, faible.
- la médiane du taux de carbone organique est à 1,54 % cette couche est faiblement organique,
- les teneurs en éléments traces varient beaucoup d'un laboratoire à l'autre. Les valeurs sont inférieures aux valeurs limites dans les sols (Cf. arrêté français concernant les épandages de boues et qui est repris par la législation française qui règlemente les EUT utilisées en irrigation agricole. Les teneurs en zinc sont assez élevées pour quatre labos sur 5 et les teneurs en chrome sont un peu moins fortes que dans la parcelle 1.
- aucun œuf de nématodes n'a été dénombré dans les échantillons de cette couche
- peu de variations de la salinité entre les deux campagnes de prélèvements ce qui est explicable d'une part par la sécheresse importante observée durant l'été 2017 , et sans que l'on ne connaisse les apports d'EUT en irrigation entre les deux périodes de prélèvements somme toute rapprochées

		SNPC	GREEN LAB	ECO2 LAB	CITET	LDM
SOLS	Unité	Parcelle 2 fourrage irrigué avec des EUT . Echantillon de terre 0 -30cm	Parcelle 2 fourrage irrigué avec des EUT Echantillon de terre 0 -30cm	Parcelle 2 fourrage irrigué avec des EUT	Parcelle 2 fourrage irrigué avec des EUT Echantillon de terre 0 -30cm	Parcelle 2 fourrage irrigué avec des EUT Echantillon de terre 0 -30cm
Nom propriétaire		Idriss ElKaabi	Idriss ElKaabi	Idriss ElKaabi	Idriss ElKaabi	Idriss ElKaabi
Coordonnées GPS		N3656405- E01007213	N3656405- E01007213	N3656405- E01007213	N3656405- E01007213	N3656405- E01007213
Date de réception des ech		16/09/2017	13/09/2017	JUILLET	JUILLET	JUILLET
Microbiologie						
Nématodes	œufs /L	Absence	Absence	Absence	Absence	Non déterminé
Physicochimie						
pH		8,30 à T=24,5°C	8,74 à 24,7°	8,19	8,3	7,8
Conductivité à 25°C	(µs/cm)	457,5	755	670	800	621
TDS	mg/L	229	ND	729 mg/kg		ND
COT	(%matière sèche)	9,97	1,19	0,32	2,53	1,4
Cations échangeables (cmol+/kg)	Ca	771,56 meq/100g	13,7	17,1		7,6 g/KG
	Mg	68,8 meq/100g	5,1	1,76		0,47g/kg
	K	23,2 meq/100g	0,63	1,49		0,14 g/kg
CEC	(meq/100g)	863,5	30,5	20,45	ND	10,5
NTK	%	0,25	756	840mg/Kg	5,72g/l	0,01%
Carbonates	%	23	33,3	0	ND	ND
Bicarbonates	%	23,99	14,9	103,7 mg/kg	169 mg/l	ND
Cl	ppm	361,223	860	799	55mg/l	233
NO3	ppm	64,89	39	191	14,1 mg/l	ND
SO4	%	0,19	200	2,6	23,8 mg/l	ND
Na	ppm	1183	1,36	3,27	31,8 mg/l	286
K	%	0,91	4,84	0,92	2,92mg/l	0,014
Ca	%	15,34	161	10,3	47,2 mg/l	0,77
Mg	%	0,82	8,1	0,578	7,34 mg/l	0,047
P	%	<0,01	431	6,3	1,55 g/l	1,6
Cd	ppm	<0,01%	1,05	0,9	<0,001	<0,01
Cr	ppm	125,47	77,7	28,3	< 0,035	16,8
Cu	ppm	<0,01%	25,3	11,8	< 0, 01 mg/l	8,2
Ni	%	<0,01	33,6	6,3 ppm	< 0,018 mg/L	11,2
Hg	%	<0,01	<3,51	<0,01 ppm	<0,0002 mg/l	0,01
Pb	ppm	25,73	19,9	<0,5	< 0, 01 mg/l	13,8
Zn	ppm	78,44	101	60,7	< 0, 085 mg/l	79
Granulométrie	argile %	41,58%	57,70%	23,80%	ND	13,5
	limon %	57,79%	28,60%	16,55	ND	50
	sables totaux %	0,63%	13,40%	55,3	37%	36

3.2.2.3 Parcelle 3 profondeur 0-30cm

- la granulométrie du laboratoire LDM indique une texture de limon-sablo- argileux
- Les valeurs de pH sont nettement basiques,
- les valeurs de conductivité sont comprises entre 500 et 1140 $\mu\text{s}/\text{cm}$ cette couche est salée, l'évolution de la salinité doit être surveillée régulièrement. La salinité est due essentiellement aux chlorures de sodium avec un risque de brûlure des cultures les plus sensibles à cet excès de sels. Ces valeurs sont surprenantes car il s'agit d'une parcelle irriguée avec des eaux conventionnelles, il serait indispensable de vérifier la conductivité de cette eau d'arrosage
- la CEC a une valeur médiane de 14,5 meq/100g, la CEC est faible.
- les valeurs du taux de carbone organique sont variables, comprises entre 0,8 et 11 % et avec une médiane à 1,8 % cette couche est peu organique,
- les teneurs en éléments traces varient beaucoup d'un laboratoire à l'autre ; les valeurs restent inférieures aux valeurs limites dans les sols (Cf. arrêté de la république française concernant les épandages de boues). Ces valeurs sont reprises par la législation française qui réglemente les EUT utilisées en irrigation agricole. Les valeurs de zinc sont assez élevées pour trois laboratoires.
- Des œufs de nématodes ont été dénombrés dans un des échantillons de terre irriguée avec des eaux conventionnelles ce qui interroge sur la provenance de cette eau.
- La conductivité est plus élevée en septembre qu'en juillet

BORJ TOUIL PARCELLE N° 3						
		SNPC	GREEN LAB	ECO2 LAB	CITET	LDM
SOLS	Unité	Parcelle 3 oliviers irrigués avec eaux conventionnelles Echantillon de terre 0 - 30cm	Parcelle 3 oliviers irrigués avec eaux conventionnelles Echantillon de terre 0 - 30cm	Parcelle 3 oliviers irrigués avec eaux conventionnelles Echantillon de terre 0 - 30cm	Parcelle 3 oliviers irrigués avec eaux conventionnelles Echantillon de terre 0 - 30cm	Parcelle 3 oliviers irrigués avec eaux conventionnelles Echantillon de terre 0 - 30cm
Nom propriétaire		Walid Laaroussa				
Coordonnées GPS		N3655242-E01007347	N3655242-E01007347	N3655242-E01007347	N3655242-E01007347	N3655242-E01007347
Date de réception des ech		16/09/2017		JUILLET	JUILLET	JUILLET
Microbiologie						
Nématodes	œufs /L	Absence	Absence	Présence	Absence	Non déterminé
Physicochimie						
pH		8,25	8,22	8,13	8,2	7,9
Conductivité à 25°C	(µs/cm)	1146,5	907	491	760	607
TDS	mg/L	573	ND	534	ND	ND
COT	(%matière sèche)	11,27	1,8	0,79	2,3	0,8
Cations échangeables (cmol+/kg)	Ca	564,5 meq/100g	14,4	12,43cmol+kg	ND	0,77
	Mg	70,5 meq/100g	6,24	0,35cmol+kg	ND	0,04
	K	32,3 meq/100g	0,838	1,6cmol+kg	ND	0,014
CEC	(meq/100g)	667,3	31,8	14,5	ND	9,9
NTK	%	0,19	1,34	0,91	4,8 gN/L	0,07%
Carbonates	%	17,17	25,8	0	0	ND
Bicarbonates	%	17,45	12,4	0,097	0	ND
Cl	ppm	660,2	910	976	65,3 mg/l	234
NO3	ppm	136,24	150	285	21,8 mg/l	ND
SO4	%	0,3	110	0,32	34,8 mg/l	ND
Na	ppm	858	1,27	0,3	38,2 mg/l	0,043
K	%	1,26	7,66	1,08	2,76 mg/l	0,0013
Ca	%	11,44	125	7,09	58,7 mg/l	0,015 g/kg
Mg	%	0,850	7,7	0,165	7,46 mg/l	0,02 g/kg
P	%	0,110	1,49	6,01	0,6 mg/l	42 ppm
Cd	ppm	3,95	1,34	<0,02	<0,001	<0,01
Cr	ppm	114,49	77,8	24,9	<0,01	21
Cu	ppm	38,64	66,2	10,9	<0,01	9,4
Ni	%	<0,01	30,8	0,085	<0,01	14
Hg	%	<0,01	318	<0,01	<0,01	0,009 ppm
Pb	ppm	81,86	68,9	<0,05	<0,0002	14,1 ppm
Zn	ppm	164,05	197	55,9	0,04	90 ppm
Granulométrie	argile %	77,45%	Argile 43,2%	24,30%	ND	16,5
	limon %	21,96%	Limon 24,5%	10,7	ND	48
	sables totaux %	0,59%	Sable tot 27,4%	60	65%	35,5

3.2.3 Sols du périmètre de Soukra

Les prélèvements de terre effectués sur 4 parcelles avec des cultures différentes et une origine différente de l'eau d'irrigation soit de l'eau usée traitée (EUT) soit des eaux conventionnelles indiquent :

- une granulométrie franchement sableuse avec plus de 85 % de sables grossiers
- un pH basique
- une conductivité moyennement élevée pour les terres irriguées (comprise entre 410 et 540 $\mu\text{S}/\text{cm}$) avec des EUT, plus faible (270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en moyenne) pour une parcelle irriguée avec des eaux conventionnelles ou plus forte pour une parcelle d'Hedi Ben Mahmoud (comprise entre 650 et 719 $\mu\text{S}/\text{cm}$) irriguée elle aussi avec des eaux conventionnelles.
- des teneurs faibles en matière organique
- des teneurs en éléments traces faibles mais avec des valeurs notablement différentes entre les 2 laboratoires notamment pour le chrome et le zinc qui sont les 2 ET dont les teneurs sont notables et fluctuantes.
- présence d'œufs de nématodes pour un laboratoire dans la terre des deux parcelles irriguées avec des eaux usées traitées.

		Labo 1 SNPC	Labo 2 Eco2lab	Labo 1 SNPC	Labo 2 Eco2lab
SOLS	Unité	Parcelle Irriguée EUT	Parcelle irriguée EUT	Parcelle irriguée EUT	Parcelle irriguée EUT
Nom propriétaire		Souissi Khatmi	Souissi Khatmi	Hedi B Salah Frigui	Hedi B Salah Frigui
Coordonnées GPS		N3652216- E01014592	N3652216- E01014	N3652158- E01015069	N3652158- E01015069
Date de réception des ech		14/09/2017	14/09/2017	14/09/2017	14/09/2017
Microbiologie					
Nématodes	œufs /L	Absence	présence	Absence	présence
Physicochimie					
pH		8,45	7,96	8,20 à T = 27,1 °C	7,94 à 20°
Conductivité	(µs/cm)	510	541	414	486
COT	(%matière sèche)	3,12	0,77	4,01	0,99
Cations échangeables (cmol+/kg)	Ca	798,56 meq/100g	14,38	794,26 meq/100g	11,05
	Mg	27,14 meq/100g	0,62	44,24 meq/100g	0,75
	K	19,76 meq/100g	0,49	21,4 meq/100g	0,51
TDS	mg/L	255	591	207	534
NTK	%	0,1	0,09	0,14	1317
Carbonates	%	23,86	0	23,76	0
Bicarbonates	%	24,25	42,7	24,16	42,9
Cl	ppm	0,19	44,3	0,11	532
NO3	ppm	43,74	178,72	137,89	119,15
SO4	%	1,08	0,987	0,94	2,04
CEC	(meq/100g)	845,9	15,58	1239,6	12,41
Na	ppm	579	5705	500	5,85
K	%	0,784	0,34	0,83	3,939
Ca	%	15,91	7,91	15,84	64,12
Mg	%	0,653	0,23	0,53	2,502
P	%	0,2	0,8363	0,27	176,3
Cd	%	< 0,01%	<0,02	3,98 ppm	<0,02
Cr	ppm	67,01	14,9	96,61	19,6
Cu	ppm	24,055	7,8	36,77	11,5
Ni	%	<0,01	4,2	<0,01	5,5
Hg	%	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pb	ppm	71,296	11,3	93,03	14,2
Zn	ppm	85,13	37,3	151,86	51,3
Granulométrie		> 2000 µm : Gravier: 5,15%	Sable Total 88,45	19,21%	Sable Total 85,3
		Entre 250 et 2000 µm : Sable grossier 86,43%	argile 4,85	73,89%	argile 7,65
		< 125 µm : Sable fin 8,42%	limon 3,65	6,90%	limon 2,55

		Labo 1 SNPC		Labo 2 Eco2lab				Labo 1 SNPC		Labo 2 Eco2lab	
SOLS	Unité	Parcelle irriguée par l'eau conventionnelle	Parcelle irriguée par l'eau conventionnelle	SOLS	Unité	Parcelle irriguée par l'eau conventionnelle	Parcelle irriguée par l'eau conventionnelle	SOLS	Unité	Parcelle irriguée par l'eau conventionnelle	Parcelle irriguée par l'eau conventionnelle
Nom propriétaire		Khira el Manaa	Khira el Manaa	Nom propriétaire		Hedi Ben Mahmoud	Hedi Ben Mahmoud	Nom propriétaire		Hedi Ben Mahmoud	Hedi Ben Mahmoud
Coordonnées GPS		N 3651830- E0101518	N 3651830- E0101518	Coordonnées GPS		N36521119- E01015156	N36521119- E01015156	Coordonnées GPS		N36521119- E01015156	N36521119- E01015156
Date de réception des ech		14/09/2017	14/09/2017	Date de réception des ech		14/09/2017	14/09/2017	Date de réception des ech		14/09/2017	14/09/2017
Microbiologie				Microbiologie				Microbiologie			
Nématodes	œufs /L	Absence	Absence	Nématodes	œufs /L	Absence	Absence	Nématodes	œufs /L	Absence	Absence
Physicochimie				Physicochimie				Physicochimie			
pH		8,15 à T = 27,1 °C	8,09 à 20°	pH		8,2	7,83	pH		8,2	7,83
Conductivité	(µs/cm)	237	302	Conductivité	(µs/cm)	719	650	Conductivité	(µs/cm)	719	650
COT	(%matière sèche)	2,9	0,75	COT	(%matière sèche)	3,92	1,25	COT	(%matière sèche)	3,92	1,25
Cations échangeables (cmol+/kg)	Ca	969,5 meq/100g	11,7	Cations échangeables (cmol+/kg)	Ca	802,9 meq/100g	12,69	Cations échangeables (cmol+/kg)	Ca	802,9 meq/100g	12,69
	Mg	27,6 meq/100g	0,58		Mg	94,5 meq/100g	0,55		Mg	94,5 meq/100g	0,55
	K	20,75 meq/100g	0,5		K	20,2 meq/100g	0,47		K	20,2 meq/100g	0,47
TDS	mg/L	118	335	TDS	mg/L	359,5	712	TDS	mg/L	359,5	712
NTK	%	0,1	813	NTK	%	0,1	1485	NTK	%	0,1	1485
Carbonates	%	28,39	0	Carbonates	%	23,74	0	Carbonates	%	23,74	0
Bicarbonates	%	28,86	36,6	Bicarbonates	%	24,14	48,8	Bicarbonates	%	24,14	48,8
Cl	ppm	<0,01	178	Cl	ppm	0,27	621	Cl	ppm	0,27	621
NO3	ppm	114,56	208,5	NO3	ppm	140,27	202,55	NO3	ppm	140,27	202,55
SO4	%	0,72	2,297	SO4	%	1,38	1,347	SO4	%	1,38	1,347
CEC	(meq/100g)	1017,8	12,9	CEC	(meq/100g)	917,6	13,81	CEC	(meq/100g)	917,6	13,81
Na	ppm	249	5,868	Na	ppm	669	5,246	Na	ppm	669	5,246
K	%	0,81	3,626	K	%	0,79	3,046	K	%	0,79	3,046
Ca	%	18,92	67,93	Ca	%	15,83	68,29	Ca	%	15,83	68,29
Mg	%	0,33	2,121	Mg	%	0,189	2,045	Mg	%	0,189	2,045
P	%	0,1	101,4	P	%	0,8	277,5	P	%	0,8	277,5
Cd	%	<0,01	<0,02	Cd	%	<0,01 ppm	<0,02	Cd	%	<0,01 ppm	<0,02
Cr	ppm	71,82	14,4	Cr	ppm	68,17	13,9	Cr	ppm	68,17	13,9
Cu	ppm	24,09	7,2	Cu	ppm	37,49	10,6	Cu	ppm	37,49	10,6
Ni	%	<0,01	4	Ni	%	<0,01	3,8	Ni	%	<0,01	3,8
Hg	%	<0,01	<0,01	Hg	%	<0,01	<0,01	Hg	%	<0,01	<0,01
Pb	ppm	62,41	13,9	Pb	ppm	68,51	29,2	Pb	ppm	68,51	29,2
Zn	ppm	107,29	40,4	Zn	ppm	223,16	59,1	Zn	ppm	223,16	59,1
Granulométrie		9,35%	Sable Total 87,4	Granulométrie		4,97%	Sable Total 88,3	Granulométrie		4,97%	Sable Total 88,3
		85,67%	argile 5,55			86,44%	argile 4,45			86,44%	argile 4,45
		4,98%	limon 3,1			8,59%	limon 2,95			8,59%	limon 2,95

3.2.4 Sols du périmètre de Nabeul

De la terre de deux parcelles d'orangers irriguées avec des EUT et deux parcelles irriguées avec des eaux conventionnelles a été prélevée et analysée par deux laboratoires au cours d'une seule campagne celle de septembre.

- une texture franchement sableuse sauf pour la parcelle de piments où la texture est sablo-argileuse.
- un pH basique
- une conductivité moyenne à peu élevée pour les parcelles d'orangers, oliviers irriguées (comprise entre 241 et 479 $\mu\text{S}/\text{cm}$) avec des EUT et la parcelle de tamaris irriguée avec des eaux conventionnelles,
- en revanche la conductivité est très élevée pour la terre de la parcelle de piments irriguée avec des eaux conventionnelles (comprise entre 1390 et 1584 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La salinité excessive est due ici aux fortes teneurs en sulfates et peut être aussi à la fertilisation minérale appliquée pour le développement des piments,
- des teneurs en matière organique correctes mais avec des variations de résultats importantes entre les deux labos notamment pour la parcelle de piments (de 0,5 % à 2,8% !)
- des teneurs en éléments traces faibles mais avec des valeurs notablement différentes entre les 2 laboratoires. Les teneurs en chrome et zinc sont les plus faibles de l'ensemble des valeurs.

		Labo 1 CMA		Labo 2 GreenLab				Labo 1 CMA		Labo 2 GreenLab	
Paramètres	Unité	Parcelle d'olives irriguée EUT	Parcelle d'olives irriguée EUT	Paramètres	Unité	Parcelle orangers irriguée EUT	Parcelle orangers irriguée EUT	Paramètres	Unité	Parcelle orangers irriguée EUT	Parcelle orangers irriguée EUT
Nom propriétaire		Mohamed Ben Jilani		Mohamed Ben Jilani		Mohamed Ben Mokhtar		Mohamed Ben Mokhtar		Mohamed Ben Mokhtar	
Coordonnées GPS		N3627290- E0,1042026		N3627290- E0,1042026		N3627211- E01042144		N3627211- E01042144		N3627211- E01042144	
Date de réception des ech		13-sept		13-sept		13-sept		13-sept		13-sept	
Microbiologie											
Nématodes	œufs /L	Absence		Absence		Absence		Absence		Absence	
Physicochimie											
pH		7,1 à 23,8°		7,76 à 25,5°		7,5 à 23,4°		7,02 à 25,7°			
Conductivité	µs/cm	282		427		479		241			
COT	g/kg MS	24,9		17,2		28,7		13,7			
Cations échangeables (cmol+/kg)	Ca			6,71				6,3			
	Mg			2,45				2,06			
	K			0,848				0,389			
TDS	mg/L										
NTK	%	0,12		1620		0,23		1530			
Carbonates	%	27		1,4		18		0,41			
Bicarbonates	%			1,1				0,37			
Cl	mg/kg MS	179		220		293		84			
NO3	mg/kg MS	189		280		243		210			
SO4	mg/kg MS	128,85		220		581,64		98			
CEC	(meq/100g)	4,14		12,9		4,78		11,1			
Na	mg/kg MS	838		328		711		449			
K	g/kg MS	927		1,61		2320		0,685			
Ca	g/kg MS	276,6		4,14		418,9		4,662			
Mg	g/kg MS	199,3		2,1		203		1,6			
P	g/kg MS	859		833		1670		1,28			
Cd	mg/kg MS	<0,005		0,208		<0,005		0,298			
Cr	mg/kg MS	11,9		16		6,4		12,9			
Cu	mg/kg MS	45		7,02		42,5		10,3			
Ni	mg/kg MS	4,35		6,32		2,5		4,87			
Hg	µg/kg MS	<0,0005		114		<0,0005		76,2			
Pb	mg/kg MS	8		8,82		11		16,5			
Zn	mg/kg MS	32,5		32,8		34,35		63,1			
Granulométrie		<0,2mm 7,14 %		Argile 15%		<0,2mm 44,2 %		Argile 11,4%			
		entre 0,2 et 0,315mm 22,13 %		Limon 2,5%		entre 0,2 et 0,315mm 2,6 %		Limon 1,4%			
		entre 0,315 et 0,5mm 14,62 %		Sable tot 82,4%		entre 0,315 et 0,5mm 0,4 %		Sable tot 85,5%			
		entre 0,5et 1mm 34,78 %				entre 0,5et 1mm 11,6 %					
		entre 1 et 1,25mm 6,32 %				entre 1 et 1,25mm 11,2 %					
		entre 1,25 et 2mm 13,04 %				entre 1,25 et 2mm 21,8 %					
		>2mm 1,97 %				>2mm 8,2 %					

						Labo 1 CMA	Labo 2 GreenLab	
Paramètres	Unité	Parcelle de tamaris	Parcelle de tamaris	Paramètres	Unité	Parcelle de piment	Parcelle de piment	
Nom propriétaire		Ali Mathlouthi	Ali Mathlouthi	Nom propriétaire		Mourad Esaayeh	Mourad Esaayeh	
Coordonnées GPS		N3629015 - E01041545	N3629015 - E01041545	Coordonnées GPS		N3628457 - E01041415	N3628457 - E01041415	
Date de réception des ech		13-sept	13-sept	Date de réception des ech		13-sept	13-sept	
Microbiologie				Microbiologie				
Nématodes	œufs /L	Absence	Absence	Nématodes	œufs /L	Absence	Absence	
Physicochimie				Physicochimie				
pH		7,8 à 23,1°C	8,19 à 25,7°C	pH		7,6 à 23,3°C	8,13 à 25,2	
Conductivité	µs/cm	439	327	Conductivité	µs/cm	1390	1584	
COT	g/kg MS	18,54	9,91	COT	g/kg MS	28,43	4,79	
Cations échangeables (cmol+/kg)	Ca		11,3	Cations échangeables (cmol+/kg)	Ca		9,6	
	Mg		2,39		Mg			5,01
	K		3,48		K			0,888
TDS	mg/L			TDS	mg/L			
NTK	%	0,07	1,2 10^3	NTK	%	0,04	717	
Carbonates	%	31	3,1	Carbonates	%	66	7,7	
Bicarbonates	%		1,9	Bicarbonates	%		2,4	
Cl	mg/kg MS	257	120	Cl	mg/kg MS	413	470	
NO3	mg/kg MS	207	73	NO3	mg/kg MS	89,7	150	
SO4	mg/kg MS	596,25	190	SO4	mg/kg MS	3600	3700	
CEC	(meq/100g)	4,8	33,9	CEC	(meq/100g)	12,39	15,5	
Na	mg/kg MS	729,5	174	Na	mg/kg MS	713,5	440	
K	g/kg MS	2,45	0,691	K	g/kg MS	2,45	1,58	
Ca	g/kg MS	12,5	17,1	Ca	g/kg MS	12,2	33,3	
Mg	g/kg MS	2,2	2,8	Mg	g/kg MS	2,28	5,04	
P	g/kg MS	1,7	707	P	g/kg MS	1,69	401	
Cd	mg/kg MS	<0,005	<0,236	Cd	mg/kg MS	<0,005	0,325	
Cr	mg/kg MS	5,9	14,3	Cr	mg/kg MS	14,9	29,9	
Cu	mg/kg MS	34	9,59	Cu	mg/kg MS	28,4	11,9	
Ni	mg/kg MS	5,7	4,95	Ni	mg/kg MS	5,65	11,2	
Hg	µg/kg MS	<0,0005	178	Hg	µg/kg MS	<0,0005	139	
Pb	mg/kg MS	0,01	13,7	Pb	mg/kg MS	10,85	3,09	
Zn	mg/kg MS	31	39,7	Zn	mg/kg MS	29,5	34,5	
Granulométrie		<0,2mm 48,81 %	Argile 13,5%	Granulométrie		<0,2mm 13,4 %	Argile 31,7%	
		entre 0,2 et 0,315mm 21,6 %	Limon 2,9%			entre 0,2 et 0,315mm 9,6 %	Limon 7,4%	
		entre 0,315 et 0,5mm 0,3%	Sable tot 82,2%			entre 0,315 et 0,5mm 0,8 %	Sable tot 59,2%	
		entre 0,5et 1mm 4,62 %				entre 0,5et 1mm 10,6 %		
		entre 1 et 1,25mm 0,3 %				entre 1 et 1,25mm 4,2 %		
		entre 1,25 et 2mm 4,6 %				entre 1,25 et 2mm 11 %		
		>2mm 19,75 %				>2mm 50,4%		

3.3 Résultats des analyses des végétaux

Comme expliqué précédemment, pour cette étude, nous avons analysé des végétaux irrigués avec des eaux usées traitées et des eaux conventionnelles. Ces plantes se situent dans les parcelles des agriculteurs mentionnés dans la partie précédente (analyses des sols).

Nous avons étudié les résultats des analyses microbiologiques et physicochimiques des échantillons de plantes extraits. Les analyses microbiologiques vont déterminer la présence de parasites. En outre, les analyses physicochimiques doivent déterminer si il y a ou pas une contamination des cultures par les métaux lourds. Les métaux lourds analysés sont : Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Nickel (Ni), Mercure (Hg), Plomb (Pb) et Zinc (Zn). Ils peuvent constituer un risque sanitaire significatif sur les humains et les animaux. Ils peuvent également affecter les cultures irrigués.

Pour tous les échantillons, le prélèvement a concerné uniquement la partie aérienne (fruits et feuilles).

3.3.1 Végétaux du périmètre de Sfax (El Hajeb)

Etant donné qu'il n'y a actuellement pas d'irrigation avec des eaux conventionnelles dans le périmètre de El Hajeb à Sfax, uniquement des parcelles irriguées avec les EUT ont été étudiées.

Tout comme pour les eaux et les sols, les analyses des végétaux ont été effectuées dans deux laboratoires différents afin de pouvoir comparer les résultats reçus.

Quatre échantillons de sorgho irrigués par les EUT ont été prélevés au niveau des quatre parcelles.

Les résultats sont les suivants :

- Les teneurs en As, Cd, Cr, Ni, Pb sont faibles et non détectables pour 3 des 4 échantillons de plantes étudiés. Les résultats obtenus pour les échantillons de sorgho prélevés sur la parcelle de JawherBouzghanda démontrent des valeurs très variées entre les deux laboratoires. Ces données ne permettent pas d'expliquer la variabilité enregistrée pour une même plante.
- Les résultats des analyses du mercure varient beaucoup d'un laboratoire à l'autre et ne sont pratiquement pas comparables. En effet, cet élément est nettement présent selon le laboratoire GreenLab (qui a trouvé des valeurs situées entre 85.5 et 190 mg/kg de MS) alors que ses teneurs ne sont pas détectés par le laboratoire Eco2Lab.
- Les teneurs en cuivre varient entre 1.65 et 18.3 mg/kg de MS et restent en dessous des valeurs critiques pour la croissance des plantes et pour l'alimentation du bétail trouvés dans la littérature (seuils critiques pour la croissance des plantes entre 15 et 20 alors que pour l'alimentation du bétail, il varie entre 30 et 100).
- Les teneurs en Zn varient entre 5.7 et 75.5 mg/kg de MS pour les 4 différents échantillons.
- Nous remarquons l'absence d'œufs de nématodes dans tous les échantillons analysés. Toutefois, nous notons une présence variable des E Coli et des Entérocoques les quatre échantillons analysés (contamination parfois importante de l'ordre de 10^3 à 10^6).

		Labo 1 GreenLab	Labo 2 Eco2lab
Culture		Sorgho	
Nom agriculteur		Ali Cherni	
Coordonnées GPS		N3439506- E01040225	
Date de prélèvement		14-sept	
Paramètres	Unité		
Microbiologie			
Nématodes	œufs /L		absence
E coli	u/g MS		<10
Enterocoques	u/g MS		8 10 ¹
Physicochimie			
As	mg/kg MS	<0,5	0,55
Cd	mg/kg MS	<0,211	<0,02
Cr	mg/kg MS	<2,1	0,6
Cu	mg/kg MS	18,3	15,95
Ni	mg/kg MS	<2,1	0,5
Hg	mg/kg MS	190	<0,01
Pb	mg/kg MS	<0,703	1,55
Zn	mg/kg MS	75,5	8,3

		Labo 1 GreenLab	Labo 2 Eco2lab
Culture		Sorgho	
Nom agriculteur		OTD	
Coordonnées GPS		N3440469 - E01038142	
Date de prélèvement		14-sept	
Paramètres	Unité		
Microbiologie			
Nématodes	œufs /L		absence
E coli	u/g MS		2,6 10 ³
Enterocoques	u/g MS		2,4 10 ³
Physicochimie			
As	mg/kg MS	<0,5	<0,1
Cd	mg/kg MS	<0,211	<0,02
Cr	mg/kg MS	<2,1	<0,2
Cu	mg/kg MS	12,3	3,6
Ni	mg/kg MS	<2,1	<0,2
Hg	mg/kg MS	85,5	<0,01
Pb	mg/kg MS	<0,703	4,3
Zn	mg/kg MS	43,3	6,9

		Labo 1 GreenLab	Labo 2 Eco2lab
Culture		Sorgho	
Nom agriculteur		Ali Karray	
Coordonnées GPS		N3439595- E01040038	
Date de prélèvement		14-sept	
Paramètres	Unité		
Microbiologie			
Nématodes	œufs /L		absence
E coli	u/g MS		2,4 10 ²
Enterocoques	u/g MS		1,8 10 ⁶
Physicochimie			
As	mg/kg MS	0,901	0,5
Cd	mg/kg MS	<0,211	<0,02
Cr	mg/kg MS	<2,1	0,2
Cu	mg/kg MS	8,85	1,65
Ni	mg/kg MS	<2,1	<0,2
Hg	mg/kg MS	106	<0,01
Pb	mg/kg MS	<0,703	1,8
Zn	mg/kg MS	43	5,7

		Labo 1 GreenLab	Labo 2 Eco2lab
Culture		Sorgho	
Nom agriculteur		JawherBouzguanda	
Coordonnées GPS		N3442400 - E01040075	
Date de prélèvement		14-sept	
Paramètres	Unité		
Microbiologie			
Nématodes	œufs /L		absence
E coli	u/g MS		<10
Enterocoques	u/g MS		<10
Physicochimie			
As	mg/kg MS	<0,5	29,95
Cd	mg/kg MS	<0,211	15,5
Cr	mg/kg MS	<2,1	0,25
Cu	mg/kg MS	16,5	7,95
Ni	mg/kg MS	<2,1	<0,2
Hg	mg/kg MS	150	<0,01
Pb	mg/kg MS	<0,703	2,85
Zn	mg/kg MS	50,3	13,55

3.3.2 Végétaux du périmètre de BorjTouil

Sur le périmètre de BorjTouil, des prélèvements ont été effectués sur deux parcelles irriguées par les EUT et deux parcelles irriguées par les eaux conventionnelles.

3.3.2.1 Végétaux irrigués par les EUT

Les deux parcelles irriguées par les EUT reçoivent les eaux du Canal El Khelij. Des échantillons de feuilles de sorgho ont été prélevés et analysés.

Ci-dessous les résultats trouvés :

- Les teneurs en As, Cd et Pb sont faibles ou non détectables pour les deux types de végétaux analysés irrigués par les EUT.
- Les teneurs en chrome sont très différentes d'un laboratoire à l'autre. En effet, le laboratoire CITET a par exemple trouvé 78.22 mg/kg de MS alors que le GreenLab n'a pas détecté de chrome sur les échantillons de feuilles de fourrage.
- Même chose pour le nickel qui a été détecté par un seul des deux laboratoires pour les deux échantillons de fourrages et de sorgho.
- les teneurs en éléments traces Cu, Hg et Zn varient très faiblement d'un laboratoire à l'autre.
- On note l'absence d'œufs de nématodes dans tous les échantillons analysés.
- Toutefois, nous remarquons une forte présence des E Coli et des Entérocoques dans les échantillons analysés, de l'ordre de 10^3 à 10^5 .

3.3.2.2 Végétaux irrigués par les eaux conventionnelles

Des échantillons de feuilles de sorgho et des olives ont été prélevés et analysés. Ces cultures se situent sur les parcelles irriguées par des eaux conventionnelles (eaux de puits).

Ci-dessous les résultats trouvés :

- Les teneurs en Cd et Ni sont faibles ou non détectables pour les deux types de végétaux analysés irrigués par les eaux conventionnelles.
- Le plomb affiche une teneur de 2.46 mg/kg de MS par le laboratoire GreenLab pour les feuilles de fourrages. Toutefois, il n'a pas été détecté par les deux laboratoires sur les olives analysées.
- les teneurs en éléments traces As et Cu sont assez comparables d'un laboratoire à l'autre.
- Les résultats sur les teneurs en Cr, Hg et Zn sont très différents entre les deux laboratoires.
- On note l'absence d'œufs de nématodes dans tous les échantillons analysés.
- Les E Coli et les Entérocoques sont fortement présents les échantillons de feuilles de sorgho analysés. Toutefois, ces bactéries sont absentes dans les olives.

		CITET	GreenLab
EAUX		EUT	
Culture		feuilles de fourrage	
Nom agriculteur		Hedi el Arif	
Coordonnées GPS		N3656357 -E01007572	
Date de prélèvement		14-sept	
Paramètres	Unité		
Microbiologie			
Nématodes	œufs /L	Absence	
E coli	u/g MS	2,4 10 ⁴	
Enterocoques	u/g MS	4,6 10 ³	
Physicochimie			
As	mg/kg MS	0,897	1,71
Cd	mg/kg MS	<0,6	<0,284
Cr	mg/kg MS	78,2	<2,84
Cu	mg/kg MS	10,6	14,9
Ni	mg/kg MS	42,4	<0,948
Hg	mg/kg MS	0,413	48,5
Pb	mg/kg MS	<5,0	<0,948
Zn	mg/kg MS	36,5	39

		CITET	GreenLab
EAUX		EUT	
Culture		Feuilles de Sorgho	
Nom agriculteur		Idriss ElKaabi	
Coordonnées GPS		N3656405- E01007213	
Date de prélèvement		14-sept	
Paramètres	Unité		
Microbiologie			
Nématodes	œufs /L	Absence	
E coli	u/g MS	>1,1 10 ⁵	
Enterocoques	u/g MS	4,6 10 ⁴	
Physicochimie			
As	mg/kg MS	<0,05	1,62
Cd	mg/kg MS	<0,6	<0,284
Cr	mg/kg MS	26,8	<2,84
Cu	mg/kg MS	8,48	14,8
Ni	mg/kg MS	17,2	<0,948
Hg	mg/kg MS	0,457	51,4
Pb	mg/kg MS	<5,0	<0,948
Zn	mg/kg MS	51,6	73,6

		CITET	GreenLab
EAUX		Eaux Conventiionnelles	
Culture		Feuilles de Sorgho	
Nom agriculteur		Rached El Wssayaa	
Coordonnées GPS		N3655256-E01007382	
Date de prélèvement		15-nov	
Paramètres	Unité		
Microbiologie			
Nématodes	œufs /L		Absence
E coli	u/g MS		2,3 10 ⁵
Enterocoques	u/g MS		2,1 10 ⁴
Physicochimie			
As	mg/kg MS		1,34
Cd	mg/kg MS		0,492
Cr	mg/kg MS		3,16
Cu	mg/kg MS		10,6
Ni	mg/kg MS		1,83
Hg	mg/kg MS		0,117
Pb	mg/kg MS		2,46
Zn	mg/kg MS		71,7

		CITET	GreenLab
EAUX		Eaux Conventiionnelles	
Culture		Olives	
Nom agriculteur		Walid Laaroussa	
Coordonnées GPS		N3655242-E01007347	
Date de prélèvement		14-sept	
Paramètres	Unité		
Microbiologie			
Nématodes	œufs /L	Absence	
E coli	u/g MS	<3,0	
Enterocoques	u/g MS	<3,0	
Physicochimie			
As	mg/kg MS	2,18	3,88
Cd	mg/kg MS	<0,6	<0,284
Cr	mg/kg MS	5,67	<2,84
Cu	mg/kg MS	3,15	8,69
Ni	mg/kg MS	5,4	<0,948
Hg	mg/kg MS	<0,05	66,4
Pb	mg/kg MS	<5,0	<0,948
Zn	mg/kg MS	8,48	2,96

3.3.3 Végétaux du périmètre de Soukra

Des prélèvements d'échantillons de végétaux ont été effectués sur deux parcelles irriguées par les EUT et deux parcelles irriguées par les eaux conventionnelles.

3.3.3.1 Végétaux irrigués par les EUT

Les deux parcelles irriguées par les EUT reçoivent les eaux de la station d'épuration de la Charguia. Des échantillons de feuilles de sorgho et d'olives ont été prélevés et analysés. Les résultats trouvés sont les suivants :

- Les teneurs en As, Cd, Hg, Pb sont faibles voir non détectables par le matériel des laboratoires pour les deux échantillons analysés (olives et feuilles de Sorgho)
- Les teneurs en Ni des feuilles de Sorgho sont disparates. En effet, le laboratoire CITET a trouvé 17.7 mg/kg de MS contre 0.2 mg/kg de MS pour le laboratoire Eco2Lab et pour le même échantillon.
- Au niveau des olives, le Nickel est faiblement présent d'après les deux laboratoires.
- Le Zinc est présent dans les deux échantillons (olives et sorgho) en quantité qui varie de 9.3 à 48.5 mg/kg de MS. Il n'y a pas d'explication possible pour ces résultats vue que les laboratoires ont trouvé des teneurs très différentes.
- Pour les échantillons de sorgho, les teneurs en cuivre sont quasiment identiques et restent en dessous des valeurs critiques (seuils critiques pour la croissance des plantes entre 15 et 20 alors que pour l'alimentation du bétail, il varie entre 30 et 100).
- Les valeurs du Cr du Sorgho sont très variables.
- Il y a une très faible teneur en Cr et Cu pour les échantillons d'olives sauf pour le cuivre trouvé par le laboratoire Eco2lab qui est de 40 mg/kg de MS.
- Nous remarquons l'absence d'œufs de nématodes dans les deux échantillons analysés.
- Toutefois, nous remarquons une forte présence des E Coli et des Entérocoques dans les échantillons de sorgho. Par ailleurs, ces bactéries n'ont pas été détectées dans les olives par les deux laboratoires.

3.3.3.2 Végétaux irrigués par les eaux conventionnelles

Deux échantillons de feuilles d'agrumes et d'olives ont été cueillis sur les parcelles situées dans des zones irriguées par les eaux conventionnelles. Les analyses de ces échantillons ont donné les résultats suivants :

- Les teneurs en éléments As, Cd, Hg et Pb sont très faibles ou non détectables pour les deux échantillons et pour les deux laboratoires.
- Le cuivre est présent mais ne dépasse pas les valeurs critiques trouvées dans la littérature (seuils critiques pour la croissance des plantes entre 20 à 30 alors que pour l'alimentation du bétail, il varie entre 50 à 60).
- Les teneurs en Zn sont quasiment égales dans les olives pour les deux laboratoires (CITET 11.6 mg/kg de MS et Eco2Lab 10.3 mg/kg de MS).
- Les teneurs en Cr et en Ni varient beaucoup d'un laboratoire à l'autre.
- Il y a absence d'œufs de nématodes dans les deux échantillons analysés.
- Nous remarquons par ailleurs une forte présence des E Coli et des Entérocoques dans les échantillons de feuilles d'agrumes pour les deux laboratoires de l'ordre de 10^3 à 10^5 unités/g MS. Par ailleurs, ces bactéries n'ont pas été détectées dans les olives.

		CITET	Eco2Lab
EAUX		EUT	
Culture		feuilles de Sorgho	
Nom agriculteur		SouissiKhatmi	
Coordonnées GPS		N 3652216- E01014592	
Date de prélèvement		11-sept	
Paramètres	Unité		
Microbiologie			
Nématodes	œufs /L	Absence	Absence
E coli	u/g MS	4,6 10 ⁴	2,5 10 ³
Enterocoques	u/g MS	4,6 10 ⁶	3,1 10 ⁴
Physicochimie			
As	mg/kg MS	0,4	1,7
Cd	mg/kg MS	<0,6	1
Cr	mg/kg MS	19	1,01
Cu	mg/kg MS	10,9	10,6
Ni	mg/kg MS	17,7	0,2
Hg	mg/kg MS	0,748	<0,01
Pb	mg/kg MS	<5,0	2,1
Zn	mg/kg MS	48,5	10,7

		CITET	Eco2Lab
EAUX		EUT	
Culture		olives EUT	
Nom agriculteur		Hedi Ben Salah Frigui	
Coordonnées GPS		N 3652216- E01014592	
Date de prélèvement		11-sept	
Paramètres	Unité		
Microbiologie			
Nématodes	œufs /L	Absence	Absence
E coli	u/g MS	<3	<10
Enterocoques	u/g MS	<3	<10
Physicochimie			
As	mg/kg MS	<0,05	1,25
Cd	mg/kg MS	<0,6	0,4
Cr	mg/kg MS	<5,0	<0,2
Cu	mg/kg MS	<5,0	40
Ni	mg/kg MS	<5,0	0,404
Hg	mg/kg MS	<0,05	<0,01
Pb	mg/kg MS	<5,0	0,65
Zn	mg/kg MS	9,22	16,3

		CITET	Eco2Lab
EAUX		Eaux Conventionnelles	
Culture		Feuilles d'agrumes	
Nom agriculteur		Hedi Ben Mahmoud	
Coordonnées GPS		N 3652119 - E01015156	
Date de prélèvement		11-sept	
Paramètres	Unité		
Microbiologie			
Nématodes	œufs /L	Absence	Absence
E coli	u/g MS	1,1 10 ⁵	1,4 10 ³
Enterocoques	u/g MS	7,5 10 ³	1,8 10 ⁴
Physicochimie			
As	mg/kg MS	<0,05	<0,1
Cd	mg/kg MS	<0,6	<0,02
Cr	mg/kg MS	21	<0,2
Cu	mg/kg MS	9,53	1,55
Ni	mg/kg MS	22,5	<0,2
Hg	mg/kg MS	<0,05	<0,01
Pb	mg/kg MS	<5,0	<0,5
Zn	mg/kg MS	13,1	1,4

		CITET	Eco2Lab
EAUX		Eaux Conventionnelles	
Culture		olives	
Nom agriculteur		Khira El Manaa	
Coordonnées GPS		N 3652119 - E01015156	
Date de prélèvement		11-sept	
Paramètres	Unité		
Microbiologie			
Nématodes	œufs /L	Absence	Absence
E coli	u/g MS	<3	<10
Enterocoques	u/g MS	<3	<10
Physicochimie			
As	mg/kg MS	<0,05	3,3
Cd	mg/kg MS	<0,6	1,8
Cr	mg/kg MS	<5,0	0,4
Cu	mg/kg MS	5,71	7,85
Ni	mg/kg MS	<5,0	1,3
Hg	mg/kg MS	<0,05	<0,01
Pb	mg/kg MS	<5,0	<0,5
Zn	mg/kg MS	11,6	10,3

3.3.4 Végétaux du périmètre de Nabeul

Des échantillons de cultures différentes ont été ramassés sur deux parcelles irriguées par des EUT et deux parcelles irriguées avec des eaux conventionnelles. Ces échantillons ont été analysés par deux laboratoires.

3.3.4.1 Végétaux irrigués par les EUT

Les deux parcelles irriguées par les EUT reçoivent les eaux de la station d'épuration de Nabeul SE4. Des échantillons d'olive et d'oranges ont été prélevés et analysés. Les résultats trouvés sont les suivants :

- Les teneurs en Cd, Cr, Ni et Pb sont faibles voir non détectables par le matériel des laboratoires pour les deux échantillons analysés (olives et oranges)
- les valeurs du taux d'arsenic sont très variables entre les deux laboratoires et pour les deux échantillons.
- Les teneurs en Cu, du Hg et du Zn des olives sont disparates.
- Concernant les oranges, le mercure n'est pas détectable selon Eco2lab (<0.1 mg/kg de MS) mais atteint 19.7 mg/kg de MS selon le laboratoire Greenlab.
- Nous remarquons l'absence d'œufs de nématodes dans les deux échantillons analysés.
- On note une petite présence des E Coli et des Entérocoques dans les échantillons.

3.3.4.2 Végétaux irrigués par les eaux conventionnelles

Deux échantillons de feuilles de tamaris et des piments ont été récoltés sur les parcelles situées dans des zones irriguées par les eaux conventionnelles.

Les analyses de ces échantillons ont donné les résultats suivants :

- Les teneurs en éléments Cd, Cr, Ni et Pb sont très faibles ou non détectables pour les deux échantillons de tamaris et pour les deux laboratoires. Pareil pour les éléments Ni et Pb pour les piments.
- On note une grande différence sur les résultats des analyses du mercure sur le tamaris. En effet, il est de 92.7 mg/kg de MS selon le Greenlab alors qu'il est inférieur à 0.01 mg/kg de MS d'après Eco2lab.
- Les résultats des analyses du Cuivre sont assez similaires pour les deux types de cultures étudiées.
- Les teneurs en As, Cd et Cr des piments sont très variables entre les deux laboratoires.
- Il y a absence d'œufs de nématodes dans les deux échantillons analysés.
- Les résultats sur les E Coli et les Entérocoques sont plus contrastés. En effet, le laboratoire Greenlab met en évidence une forte contamination des tamaris par les germes E coli et entérocoques (niveaux de concentrations $>1.1 \cdot 10^7$ pour les E coli, et $9.3 \cdot 10^4$ pour les entérocoques) tandis que le laboratoire Eco2lab ne trouve que $2 \cdot 10^3$ unités d'E coli par g de MS en concentration quantifiable et mesure une concentration en entérocoques de $5 \cdot 10^4$ germes/g MS.
- Pour les piments on note $9 \cdot 10^3$ unités d'E Coli par g MS selon Greenlab contre $3 \cdot 10^4$ unités selon Eco2lab. D'autre part, $2 \cdot 10^4$ unités d'Entérocoques selon Greenlab contre $3 \cdot 10^5$ unités détectés par Eco2lab.

		GreenLab	Eco2Lab
EAUX		EUT	
Culture		Olives	
Nom agriculteur		Mohamed Ben Jilani	
Coordonnées GPS		N3627290- E0,1042026	
Date de prélèvement		13-sept	
Paramètres	Unité		
Microbiologie			
Nématodes	œufs /L	Absence	Absence
E coli	u/g MS	360	<10
Enterocoques	u/g MS	0	40
Physicochimie			
As	mg/kg MS	1,47	0,1
Cd	mg/kg MS	<0,192	<0,02
Cr	mg/kg MS	<1,92	0,2
Cu	mg/kg MS	5,32	7
Ni	mg/kg MS	<0,641	0,35
Hg	mg/kg MS	82	<0,01
Pb	mg/kg MS	<0,641	<0,5
Zn	mg/kg MS	<3,20	17,5

		GreenLab	Eco2Lab
EAUX		EUT	
Culture		Orange	
Nom agriculteur		Mohamed Ben Mokhtar	
Coordonnées GPS		N3627211- E01042144	
Date de prélèvement		13-sept	
Paramètres	Unité		
Microbiologie			
Nématodes	œufs /L	Absence	Absence
E coli	u/g MS	360	1700
Enterocoques	u/g MS	0	3800
Physicochimie			
As	mg/kg MS	0,525	0,9
Cd	mg/kg MS	<0,053	0,1
Cr	mg/kg MS	<0,525	<0,2
Cu	mg/kg MS	0,998	5,95
Ni	mg/kg MS	<0,525	0,2
Hg	mg/kg MS	19,7	<0,01
Pb	mg/kg MS	0,403	0,91
Zn	mg/kg MS	3,96	12,25

		GreenLab	Eco2Lab
EAUX		Eaux Conventionnelles	
Culture		tamaris	
Nom agriculteur		Ali Mathlouthi	
Coordonnées GPS		N3629015 - E01041545	
Date de prélèvement		13-sept	
Paramètres	Unité		
Microbiologie			
Nématodes	œufs /L	Absence	Absence
E coli	u/g MS	>1,1 10 ⁷	2600
Enterocoques	u/g MS	9,3 10 ⁴	50000
Physicochimie			
As	mg/kg MS	0,702	0,15
Cd	mg/kg MS	<0,15	<0,02
Cr	mg/kg MS	<1,5	0,25
Cu	mg/kg MS	4,26	7,85
Ni	mg/kg MS	<0,501	<0,2
Hg	mg/kg MS	92,7	<0,01
Pb	mg/kg MS	<0,501	0,55
Zn	mg/kg MS	18	11,95

		GreenLab	Eco2Lab
EAUX		Eaux Conventionnelles	
Culture		piment	
Nom agriculteur		Mourad Esaayeh	
Coordonnées GPS		N3628457 - E01041415	
Date de prélèvement		13-sept	
Paramètres	Unité		
Microbiologie			
Nématodes	œufs /L	Absence	Absence
E coli	u/g MS	9300	34000
Enterocoques	u/g MS	2300	62000
Physicochimie			
As	mg/kg MS	0,225	2,1
Cd	mg/kg MS	0,112	1,5
Cr	mg/kg MS	<0,843	2
Cu	mg/kg MS	4,75	5,8
Ni	mg/kg MS	<0,393	<0,2
Hg	mg/kg MS	1,37	<0,01
Pb	mg/kg MS	<0,393	0,5
Zn	mg/kg MS	5,87	17,05

4 DISCUSSION

4.1 Analyse globale du compartiment Eaux

En synthèse, nous retiendrons 3 sujets de réflexion sur les résultats obtenus :

- La reproductibilité des résultats : la variabilité des informations fournies par les laboratoires est un facteur important d'appréciation du respect des limites réglementaires ainsi que des enjeux environnementaux et sanitaires,
- La performance de traitement des stations vis-à-vis des critères de suivi de la qualité de l'eau,
- La qualité des eaux usées traitées en sortie station et au niveau des ouvrages de stockage.

4.1.1 La reproductibilité des résultats

Le programme de prélèvements a prévu dans la majorité des cas un double échantillonnage pour analyses croisées des mêmes paramètres par des laboratoires différents.

Il ressort de l'ensemble des résultats commentés, les observations suivantes :

- Les **indicateurs de pollution DCO, DBO₅ et MES** sont cohérents entre laboratoires et témoignent d'une bonne maîtrise de l'échantillonnage pour analyse (homogénéisation) et des techniques analytiques.
- En cas de **salinité** importante, des écarts de valeurs de conductivité entre laboratoires peuvent être observés (problème de plage de mesure instrumental éventuel). Les résultats doivent être interprétés avec précaution et recoupés si possible avec des mesures de concentrations en chlorures.
- Les **analyses microbiologiques** sont délicates à réaliser sur les effluents bruts (quantification d'E coli et entérocoques en particulier). Il ne s'agit pas d'un enjeu direct pour la REUT mais il est important de rappeler que les calculs d'abattement des stations peuvent être soumis à de fortes incertitudes. La définition de critères réglementaires basés sur des performances d'abattement est donc sujette à débat.
- Les résultats d'analyses des **nitrate**s sont fréquemment sujets à des écarts importants entre laboratoires et de nature à mettre en cause l'interprétation de ces derniers. En outre, les méthodes utilisées sont les mêmes pour chaque laboratoire.
- Plusieurs résultats d'analyse de **phosphore** font l'objet d'écarts très importants pour des mêmes méthodes. Ils n'aboutissent potentiellement pas du tout à la même conclusion de conformité.

4.1.2 Les performances d'abattement des STEP

Les performances de traitement des stations d'épurations peuvent être caractérisées par une capacité d'abattement des indicateurs de pollution physicochimique (DCO, DBO₅, MES,

NTK, P) en termes de % et une capacité d'abattement des concentrations en germes microbiologiques exprimée en log. Cette dernière expression est imposée par les plages de valeurs exploitées (puissances de 10). Les abattements en log ($\log([E]/\log([S]))$) peuvent être comparés aux crédits d'abattement théoriques des procédés de traitement exprimés en unités log.

Tous les sites de suivi n'ont pas pu faire l'objet de cet exercice, soit faute de données complètes (entrée/sortie, complétude des paramètres), soit faute de caractérisation possible du paramètre. Les analyses microbiologiques sur les eaux usées brutes sont délicates en raison de la forte amplitude des concentrations mesurables en germes fécaux. Certains résultats d'analyses n'ont pu ainsi qu'être rendus sous forme de valeurs « supérieures à ».

L'ensemble des calculs d'abattement n'a été possible que la station de Nabeul et de Charguia (tableau ci-après).

STEP	POINT	DATE	LABO	DCO (mg/l)	DBO5 (mg/l)	MES (mg/l)	NTK (mg/l)	E Coli (UFC/100 ml)	Entérocoques (UFC/100 ml)
Nabeul SE4	Entrée	11/08/2017	CMA	951	258	344	ND	ND	ND
	Sortie	11/08/2017	CMA	42	5	11	ND	ND	ND
Abattements (%)				96%	98%	97%	#VALEUR!		
Abattements (log)								#VALEUR!	#VALEUR!
Nabeul SE4	Entrée	13-14/09/2017	CMA	554	198	503	79.6	1.00E+04	1.00E+04
	Sortie	13-14/09/2017	CMA	53	3	5	6.26	5.00E+03	5.60E+02
Abattements (%)				90%	98%	99%	92%		
Abattements (log)								0.3	1.3
Nabeul SE4	Entrée	13-14/09/2017	GREENLAB	645	200	350	81.2	1.10E+06	1.10E+06
	Sortie	13-14/09/2017	GREENLAB	40	5	6.3	6.41	2.30E+03	9.30E+02
Abattements (%)				94%	98%	98%	92%		
Abattements (log)								2.7	3.1
Nabeul SE4	Entrée	26-27/09/2017	CMA	740	216	514	70.3	1.00E+05	1.00E+05
	Sortie	26-27/09/2017	CMA	43	4	14	2.09	100	7600
Abattements (%)				94%	98%	97%	97%		
Abattements (log)								3.0	1.1
Nabeul SE4	Entrée	26-27/09/2017	CITET	839	130	400	85.7	2.80E+06	2.30E+05
	Sortie	26-27/09/2017	CITET	77	3	12	10.6	4.30E+03	9.20E+02
Abattements (%)				91%	98%	97%	88%		
Abattements (log)								2.8	2.4
Charguia	Entrée	11/09/2017	CITET	314	92	188	42.6	4.60E+06	4.30E+03
	Sortie	11/09/2017	CITET	30	2.2	6	8.29	9.30E+04	2.40E+04
Abattements (%)				90%	98%	97%	81%		
Abattements (log)								1.7	-0.7
Charguia	Entrée	11/09/2017	Eco2lab	398	179	183	32.5	3.60E+03	6.00E+03
	Sortie	11/09/2017	Eco2lab	58	16	7	2.24	36	180
Abattements (%)				85%	91%	96%	93%		
Abattements (log)								2.0	1.5

La station de Nabeul présente des performances de traitement très satisfaisante sur les paramètres DCO, DBO₅ et MES avec des taux allant de 91 à 99%. Les performances sont particulièrement bonnes pour le traitement de la DBO₅ et des MES. L'abattement de la DCO est légèrement moindre avec des valeurs minimum de 90 et 91%.

L'abattement de l'azote réduit (NTK) est légèrement plus modéré avec des taux allant de 88 à 97%.

L'efficacité de traitement des paramètres physicochimiques est à comparer aux concentrations résiduelles en sortie station étant donné les concentrations importantes en entrée Step.

Les germes fécaux sont réduits d'un facteur log moyen de l'ordre de 2 à 2.2 en moyenne (soit 99%) pour une amplitude relativement large : valeur minimum 0.3 (E coli - 11/08/17) à 3.0 maximum (E coli 26-27/09/17). Ces valeurs sont cohérentes avec la bibliographie qui considère une capacité d'abattement de 2 log pour les procédés à boues activées.

Les performances de traitement **station de Charguia** pour les indicateurs de pollution DCO, DBO₅ et MES sont comprises entre 81 et 98%. Comme pour la station de Nabeul, la performance est moindre sur le paramètre DCO que sur les paramètres MES et DBO₅.

Le traitement de l'azote réduit paraît très satisfaisant avec des rendements de 81 et 93%.

Concernant les paramètres microbiologiques, l'effet du traitement correspond à un abattement inférieur à 2 (de l'ordre de 1.7) si on exclut la valeur obtenue pour les entérocoques le 11/09/17.

Globalement, d'après les différents abattements calculés sur les critères physicochimiques et microbiologiques, on peut considérer le fonctionnement des deux stations de Nabeul et de Charguia comme satisfaisant par rapport aux limites des procédés biologiques.

4.1.3 La qualité d'eau pour REUT – usages et potentiel

Plusieurs éléments de caractérisation de la qualité des eaux usées traitées et des enjeux correspondant sont à retenir d'après les campagnes d'analyses :

- Les procédés d'épurations des stations ne permettent pas de respecter la limite réglementaire de rejet concernant le **phosphore**. La valeur limite de 0.1 mg/l pour un rejet en mer impose un traitement tertiaire poussé.
- D'après les **concentrations en MES**, les STEP dont la clarification est performante (valeurs de MES de quelques mg/l) pourraient être équipées d'un traitement complémentaire de **désinfection UV** pour améliorer la qualité microbiologique des rejets. En revanche, d'après les résultats obtenus sur certaines stations (Côtière Nord et Choutrana 2), le renforcement ou l'optimisation de la clarification est prioritaire avant d'envisager des traitements complémentaires. Cela permettra d'une part d'améliorer sensiblement la qualité microbiologique des rejets et c'est une nécessité d'autre part pour assurer l'efficacité d'un traitement de désinfection.
- Les **œufs d'helminthes** sont rarement détectés dans les effluents traités en comparaison des salmonelles et des vibrions cholériques. L'appréciation du risque sanitaire lié à la REUT doit tenir compte des paramètres prévus par la norme NT 106.02 en complément de la norme NT 106.03.
- Les **concentrations d'E coli et entérocoques** en sortie station peuvent paraître élevées dans certains cas ($> 10^4$ germes/100 ml) mais elles sont cohérentes avec les procédés de traitement biologiques qui ne permettent pas de garantir des concentrations plus basses.

- Les eaux usées traitées connaissent une **dégradation quasi généralisée au niveau du stockage** d'après les campagnes de suivi réalisées sur différents sites. Cette dégradation se traduit en particulier par une augmentation des valeurs de DCO, DBO₅ ainsi que des concentrations en bactéries fécales (E coli et entérocoques). Si la correspondance de l'origine des eaux analysées conjointement en sortie station et au niveau du stockage peut se poser (temps de séjour hydraulique), il est important de s'assurer de la vulnérabilité de l'eau stockée (intrants accidentels ou évolution naturelle). En l'absence d'explications des écarts de valeurs, il est difficile d'engager des priorités d'actions cohérentes pour réduire le risque sanitaire lié à la REUT.
- De façon générale, il n'y a **pas d'enjeu de pollution chimique** identifié dans les effluents traités préjudiciable pour l'environnement et la REUT. Les analyses d'eaux de la nappe de surface de Sfax sur le périmètre irrigué El Hajeb confirment que ce risque est très faible.
- Le canal Khelij présente une qualité d'eau comparable à un rejet de qualité médiocre non conforme sur l'ensemble des critères physicochimiques de la norme NT 106.02 et 106.03. Les concentrations en germes fécaux (E coli et entérocoques) sont importantes mais cohérentes avec la qualité des effluents que reçoit le canal (équivalent à une qualité C selon le guide de l'OMS 2006).

4.1.4 Préconisations relatives à l'exploitation d'une opération de REUT

En résumé, le bilan analytique ne met pas en évidence de problématique difficile de traitement ou de qualité d'eau (pas de micropolluants organiques ou métalliques) en vue d'un développement de la REUT sur les sites investigués.

Il ressort surtout la nécessité de **renforcer la performance de clarification**, quitte à ajouter des étapes de filtration, et d'envisager des traitements de désinfections complémentaires. L'absence d'œufs d'helminthes susceptibles de contaminer les produits de cultures ne doit pas faire oublier les risques liés à l'exposition potentielle des professionnels à des germes pathogènes de viabilité moindre, mais facilement mis en contact avec l'homme en cas de mesures préventives non mises en œuvre ou non respectées (délai entre la période d'arrosage et d'intervention du personnel, port de protections individuelles).

Cette réflexion doit être également élargie aux **moyens de maîtrise de la qualité de l'eau usée traitée dans les ouvrages de stockage**. Les résultats d'analyses tendent tous à indiquer une dégradation de la qualité de l'eau comparée à celle observée en sortie station, paramètres microbiologiques y compris et de façon significative parfois.

4.2 Analyse globale compartiment Sol

4.2.1 Evaluation des méthodes analytiques

Lorsque les laboratoires utilisent une norme qualité de l'eau pour analyser la matrice terre, ils doivent vérifier si le domaine d'application de cette méthode peut être étendu à d'autres matrices et si les interférences additionnelles qui se produisent sont effectivement prises en considération et corrigées avec attention (Cf.§ CEC) ou si la norme ne s'applique qu'à la matrice eau ; ce qui apparemment n' a pas été le cas dans ces campagnes d'analyses.

L'évaluation des méthodes en usage dans ces 5 labos met en exergue les points suivants :

- **Deux paramètres seulement sont comparables entre les cinq labos:**

- o le **pH** (norme commune ISO10390)
- o la **conductivité électrique** (norme commune ISO11265)

la variation des valeurs de pH est simplement due au fait que lors de la mesure la température mesurée diffère de quelques degrés ce qui n'a pas d'influence notable sur l'interprétation, le pH variant entre autre en fonction de la T°

- La norme ISO11261 est utilisée par 4 labos sur 5 pour l'**Azote total Kjeldhal (NTK)**

- Pour la **granulométrie**, la norme NF P 18/560 a été annulé en 2005 et s'appliquait aux granulats d'origine naturelle ou artificielle, utilisés dans le domaine du bâtiment et du génie civil, elle a été utilisée par un labo. Les seuils des classes granulométriques ne sont pas les standards habituellement utilisés en agronomie ou en pédologie, les classes granulométriques des limons fins, limons grossiers et argiles ne sont pas déterminées ou correctement identifiées pour au moins un laboratoire.

- Pour la **Capacité d'Echange Cationique** la norme internationale –Qualité du Sol– mise en œuvre par deux labos seulement prescrit une méthode de détermination de la CEC au pH du sol et de la teneur en sodium, potassium, calcium et magnésium échangeables dans le sol. La méthode décrite dépend d'interférences du calcium sous forme de calcite ou de gypse dans l'échantillon. La présence de tout sel soluble peut donc conduire à des teneurs en cations échangeables supérieures à la teneur réelle.

Compte tenu de la teneur en sels solubles mesurée par la conductivité électrique dont la teneur en calcium, aucune mention n'est portée dans les rapports analytiques signalant cette éventuelle interférence.

- Pour les **éléments traces** selon la précision des appareils de mesure la limite de détection est vite atteinte. Les normes analytiques utilisées sont celles de la qualité des eaux sauf pour le laboratoire LDM et surtout comme la méthode d'extraction –lixiviation est différente les résultats ne peuvent pas refléter précisément la teneur en ET ni la spéciation de chaque ET. Néanmoins les écarts types sont assez faibles et la comparaison avec les résultats du laboratoire français restent possibles.

- Les **unités d'expression des résultats** eux aussi différent avec notamment un laboratoire qui exprime tous les résultats par litre alors que normalement ils sont exprimés pour les analyses de terre en teneur (g/kg ou mg/kg) ou en taux (% , ‰ ou ppm). Le signalement d'une erreur manifeste auprès d'un laboratoire, au vu de ses valeurs de conductivité exprimées en $\mu\text{s/m}$ ont été corrigées en $\mu\text{s/cm}$.

4.2.2 Interprétation des résultats

La **salinité** est moyenne, ponctuellement élevée et problématique vis à vis des cultures et de la qualité des sols et des eaux souterraines à moyen terme.

Les **fractions granulométriques** argiles, limons fins et limons grossiers restent mal appréciées par les laboratoires tunisiens.

Les **variations dans les résultats analytiques** a rendu problématique une interprétation fiable et le diagnostic de l'état qualitatif des terres reste peu précis et incertain.

D'une manière globale les laboratoires tunisiens ne réalisant sans doute **pas suffisamment d'analyses de terre annuellement**, le retour d'expérience est forcément très limité. Un **circuit d'autocontrôle en vue de comparer les résultats** et mesurer les écarts analytiques pour tendre vers une amélioration de la fiabilité des analyses sera nécessaire.

L'harmonisation des méthodes analytiques normées spécifiques aux analyses de terre est également indispensable.

Le Ministère de l'Agriculture devrait avoir une politique pour **développer les analyses de terres** en vue de connaître et surveiller les sols, leur état organique, leur niveau de salinité, leur fragilité à l'érosion,... Ces données représentent un enjeu majeur pour le développement agricole et économique de la Tunisie mais aussi la protection qualitative de ses ressources en sol et en eaux.

Le redéveloppement nécessaire de la REUT en Tunisie représente une contrainte forte vis-à-vis de la qualité des sols des eaux et des productions alimentaires. Afin de ne pas anéantir la REUT à moyen terme, la surveillance de la qualité des sols, des eaux souterraines et des produits agricoles devrait être sérieusement prise en compte dans un futur programme de relance de l'irrigation avec des EUT.

4.3 Analyse Globale compartiment Plantes

D'après la littérature, du fait de leur teneur en éléments nutritifs et dans une moindre mesure de leur richesse en oligoéléments, les eaux usées correctement traitées réutilisées pour l'irrigation, entraînent une amélioration des rendements des plantes cultivées. Les recherches ont démontré que certains éléments traces (tel que le zinc et le cuivre) si ils sont présents en petite quantité, sont utiles au développement des végétaux.

Par ailleurs, l'irrigation, à partir d'EUT peut entraîner des apports d'éléments nocifs tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le nickel, le chrome. Ces éléments sont naturellement disponibles dans le sol mais en excès ils peuvent engendrer une accumulation dans les tissus des plantes et dans certains cas, ces teneurs élevées représenter un risque sanitaire pour les consommateurs.

Les résultats analytiques variés entre les laboratoires rendent difficile une interprétation fiable de ces analyses réalisées sur cultures fourragères (sorgho, piment, olives, oranges). Néanmoins, on retiendra les éléments suivants :

- Il ne semble pas y avoir de contamination des cultures par les éléments traces métalliques après irrigation par les eaux usées traitées, les teneurs sont faibles et souvent en deçà des seuils de détection
- Pour ce qui est des possibles contaminants microbiologiques :
 - o Pas de contamination des cultures par les œufs de nématodes
 - o Pas de contamination bactériologique des olives ni des oranges (fruits poussant en hauteur)
 - o Une contamination bactériologique importante des fourrages, voire des piments à Nabeul
 - o Pas de valeurs significativement différentes à BorjTouil pour la contamination bactérienne des fourrages à partir d'eaux de puits ou d'eaux conventionnelles

Un délai entre la dernière irrigation et la récolte des fourrages semble nécessaire.

Il est important de mettre en place un **système de surveillance et un contrôle fréquent des professionnels** en contact direct avec les cultures irriguées par les EUT afin d'éviter les risques de contamination par les germes. Ces professionnels doivent être sensibilisés et conscients des risques sanitaires engendrés par une négligence des mesures de précaution mises ou à mettre en place (vaccins, port des équipements de sécurité, bonnes pratiques sanitaires...).

Par ailleurs, des analyses récurrentes des cultures sont primordiales pour protéger les consommateurs (humains ou bétails) des risques de contamination.

PROVISoire

Bibliographie

ChattiAbdelwaheb et al, "Growth and survival of *Salmonella zanzibarin* juice and salami stored under refrigerated and room temperature", African Journal of Microbiology Research. Vol.(2) pp. 047-049, February, 2008

USEPA (2012) Guidelines for water reuse. (EPA/600/R-12/618) United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.

USEPA (2012) Guidelines for water reuse. (EPA/600/R-12/618) United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.

WHO (2001) Water Quality: Guidelines, Standards and Health. Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. IWA Publishing, London, UK. ISBN: 1 900222 28 0.

WHO (2004) Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

WHO (2006) Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2: Wastewater use in agriculture. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

WHO (2009) Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

WHO (2011) Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

WHO (2015) Sanitation safety planning: manual for safe use and disposal of wastewater, greywater and excreta. World Health Organization.

WHO (2016) Background paper on microbiologically safe water and microbiological parameters. Revision of Annex I of the Council Directive on the Quality of Water Intended for Human Consumption (Drinking Water Directive). World Health Organization, Geneva, Switzerland.

FAO (2003) Irrigation avec les eaux usées traitées, Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture : Bureau Régional pour le Proche-orient et Bureau sous-régional pour l'Afrique du Nord

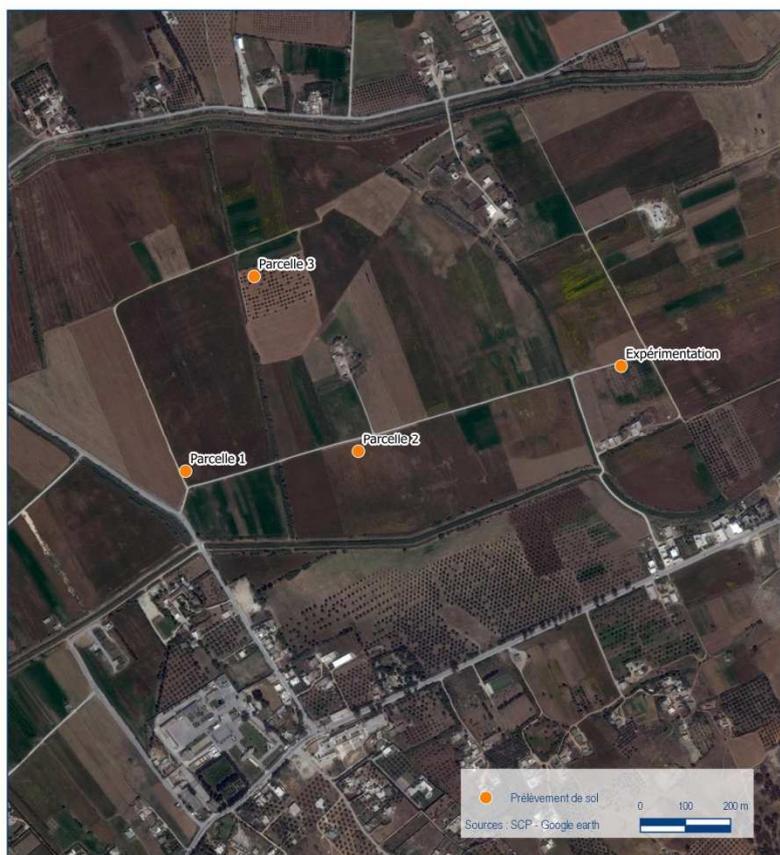
5 ANNEXES

5.1 ANNEXE 1 : RECAPITULATIF DES LABORATOIRES D'ANALYSES DE TUNISIE

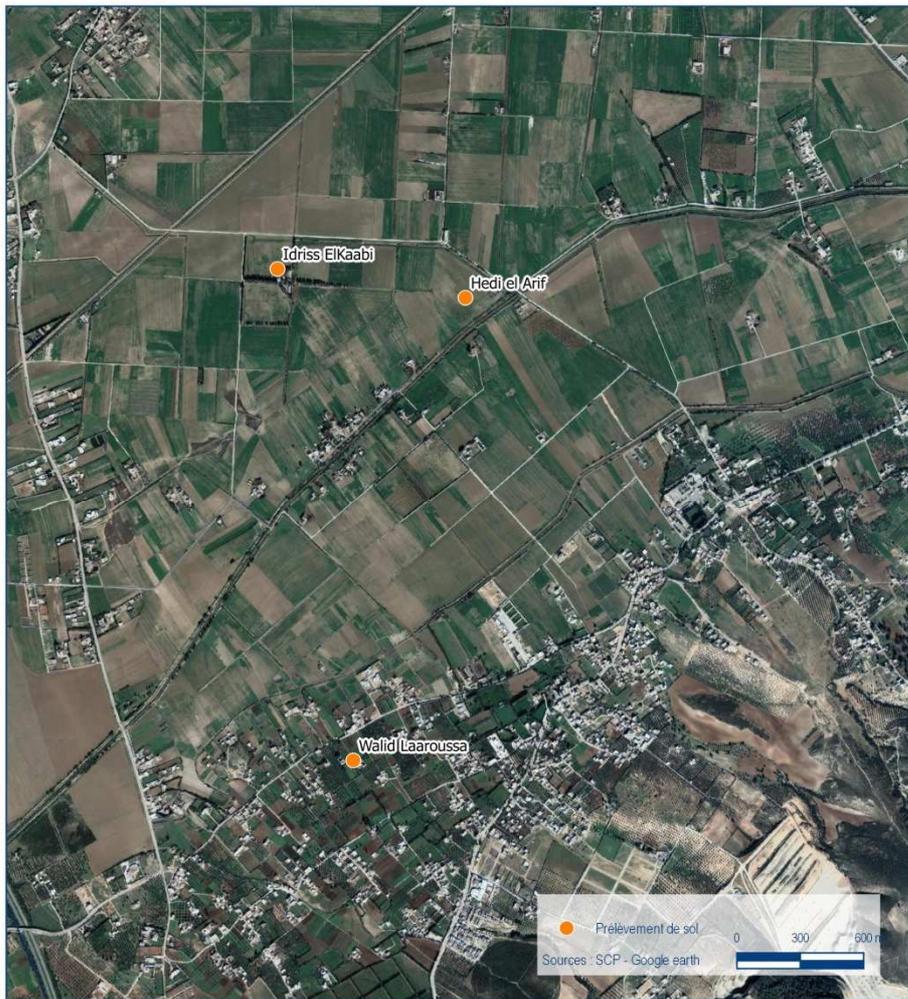
Laboratoire	Lieu	Sous-section accréditation	Périmètre d'analyses accréditées	Commentaires
CITET	Référence :10017 Adresse :Bd du Leader YacerArafet - Charguia 1080 Tunis- TUNISIE	Chimie - Environnement	Physico-chimie eaux résiduaires : pH, conductivité, NH ₄ , NO ₂ , NTK, DCO, DBO ₅ , MES, TAC, Ca, Mg, Na, K, P, Al, Fe, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Zn, Cr, Pb)	
CMA Azur Lab	Référence :1-0063 Adresse : 12 rue de l'énergie solaire 2035, La Charguia1- Tunis	Chimie - Environnement	Physico-chimie eaux résiduaires : pH, conductivité, NH ₄ , NO ₂ , NTK, DCO, DBO ₅ , MES, TAC, Ca, Mg, Na, K, P, Al, Fe, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Zn, Cr, Pb)	
Greenlab	Référence : 1-0066 Adresse : 50 rue de l'artisanat. 2035 Charguia 2 Tunis – Carthage.	Chimie - Environnement	Physicochimie eaux résiduaires : pH, conductivité, MES, DCO, DBO, NTK, P, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn. TAC, Na, K, Al, NO ₂ , Ca, NH ₄	
Eco2lab	Référence : 0053 Adresse : Zone industrielle Oued laarouk GP1 Km 8, 4022 Akouda Sousse	Agroalimentaire/B iologie/Biochimie	Microbiologie des produits alimentaires : E Coli, bactéries 30°C et bactéries anaérobies sulfitoréductrices	
Eco2lab	Adresse : Ben Arous Tunis	Chimie - Environnement	Analyses physicochimiques hors accréditation : pH, conductivité, MES, DCO, DBO ₅ , NTK/NH ₄ , analyses colorimétriques, métaux	
SNPC	Référence : 1-0052 Adresse : ZI THYNA- BP19- 3089-15 NOV SFAX TUNISIE	Chimie - Environnement	Analyses physicochimiques pH, DCO ; MES, chlorures et certains métaux lourds	Réalisation d'autres analyses hors accréditation dont analyses microbiologiques

5.2 ANNEXE 3 LOCALISATION DES PARCELLES D'ETUDE DES SOLS

Prélèvements juillet 2017 Borjtouil

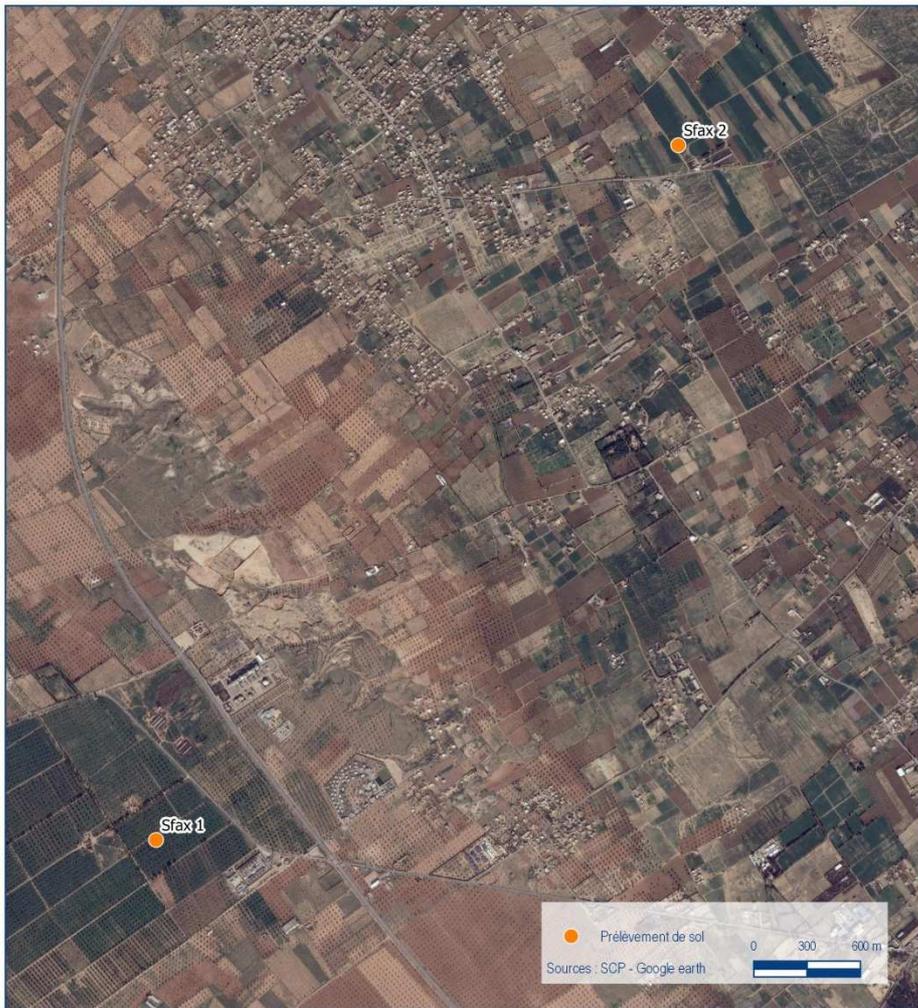


Prélèvements octobre 2017 Bor Touil



PRO

Prélèvements juillet 2017 Sfax Sud



Prélèvements Octobre 2017 Sfax Sud

